

HEI

INGÉNIEURS
POUR LE MONDE

Nom et prénoms : AARON Clarisse Marie Rufine

Classe : HEI 52

Domaine : PCE

Type de stage : INGENIEUR

Sujet du stage : Caractérisation des vitesses de chutes et des tailles de particules dans des dessableurs de traitements primaires des eaux usées

Dates du stage : 19 Mai 2014 au 17 Octobre 2014

Nom de l'entreprise : modelEAU, Université Laval



UNIVERSITÉ
LAVAL

Nom du tuteur en entreprise: Thibaud MARUEJOULS

Fonction du tuteur : Chercheur Postdoctoral

Rapport Confidentiel : Non



Remerciements

Je souhaite remercier le Professeur Peter VANROLLEGHEM, directeur de la chaire de recherche en modélisation de la qualité de l'eau, de m'avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage de fin d'étude au sein de son équipe de recherche, de m'avoir considérée comme un membre de l'équipe mais aussi pour sa disponibilité et sa sympathie.

Je remercie également mon maître de stage Thibaud MARUEJOULS pour son encadrement et ses conseils qui m'ont aidée à acquérir de nouvelles connaissances en traitement des eaux usées.

Merci à tous les membres de l'équipe modelEAU, particulièrement à Sylvie LEDUC et Sovanna TIK pour leur gentillesse et leur aide. Merci à Michel BISPING, responsable du laboratoire d'environnement, pour sa disponibilité. Merci à Denis DUFOUR et aux techniciens de la station d'épuration Est de Beauport pour leur aide lors des échantillonnages.

Je tiens à remercier Philippe MORAIS et Bernard PATRY, étudiants à l'Université Laval pour leurs conseils et leur collaboration au laboratoire. Enfin, je remercie les étudiants, les stagiaires et les doctorants pour leur sympathie et l'ambiance au sein de ce bureau que l'on a partagé.

Sommaire

Remerciements	2
Sommaire	3
Introduction	4
I. L'Université Laval et modelEAU	5
I.1. Université Laval	5
I.2. modelEAU	7
I.2-1. L'équipe.....	8
I.2-2. Les projets	8
II. Le stage	9
II.1. Rapport d'activité	9
II.1-1. Missions principales.....	9
II.1-2. Missions secondaires.....	13
II.2. Rapport technique.....	18
II.2-1. Introduction.....	18
II.2-2. Cas d'étude : La station d'épuration Est de Beauport.....	18
II.2-3. Méthodes et matériels utilisés pour le projet.....	21
II.2-4. Résultats et discussions	29
II.2-5. Conclusion	44
III. Partie Ethique	46
Conclusion.....	48
Références bibliographiques	49
Annexe 1 : Capture d'écran fichiers Excel pour la manipulation de données.....	50
Annexe 2 : Protocole ViCAs	51
Annexe 3 : Protocole FBRM	55
Annexe 4 : Couplage des résultats ViCAs/FBRM	57
Annexe 5 : Capture écran du calcul des itérations.....	60
Annexe 6 : Feuille de résultat ViCAs.....	61

Introduction

Ce stage ingénieur fut ma dernière possibilité pour valider ma mobilité à l'internationale. J'ai ainsi décidé de rechercher mon stage au Canada, plus précisément à Québec dans les universités et centre de recherche pour compléter ma formation avec une expérience dans une équipe de recherche car j'avais déjà goûté au monde de l'entreprise pour mon stage de professionnalisation.

Une équipe de recherche a bien voulu m'ouvrir ses portes et j'ai donc accepté d'intégrer l'équipe de recherche de modelEAU au sein de l'Université Laval à Québec qui travaille sur la modélisation de la qualité de l'eau. Le stage s'étale sur une durée de 5 mois et est dirigé par le professeur Peter VANROLLEGHEM.

Durant l'été, l'équipe recrute plusieurs stagiaires pour mener à bien des projets qui sont tous liés d'une façon ou d'une autre mais aussi pour effectuer des campagnes d'échantillonnage à la station d'épuration en collaboration avec la Ville de Québec.

Ce rapport de stage va recenser les différentes missions effectuées tout au long de ce séjour, avec dans un premier temps une présentation de l'université et de l'équipe. Pour ensuite aborder le côté technique et les résultats obtenus sur la caractérisation des vitesses de chute et des tailles de particules au niveau du dessableur dans le traitement primaire des eaux usées.

I. L'Université Laval et modelEAU

D'une superficie de près de 10 millions de km², le Canada est le 2^{ème} pays le plus vaste du monde après la Russie, pour environ 35 millions d'habitants, et est divisé en 10 provinces dont celle de Québec. Celle-ci est la plus grande province canadienne, elle s'étend sur 1,7 millions de km² et sa capitale est la ville de Québec.

La Ville de Québec se partage entre deux universités :

- L'Université du Québec que l'on retrouve sur l'ensemble de la région comme à Montréal (Université du Québec à Montréal, UQAM) ou à Trois-Rivières mais il y a aussi plusieurs succursales : l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) avec un centre spécialisé Eau Terre et Environnement, l'École nationale d'administration publique (ENAP) ou encore la Télé-université (TÉLUQ, formation à distance).
- L'Université Laval, l'une des plus grandes universités du Canada.

I.1. Université Laval

L'Université Laval fut la première université francophone à voir le jour en Amérique. Elle compte environs 48 000 étudiants dont 6 100 d'origine étrangère. Cette université propose un milieu de recherche unique avec 299 M\$ de fonds de recherche et environs 251 centres, chaires, instituts et regroupements de recherche.

Le campus de l'Université (Figure 1) est un vaste domaine composé de plusieurs édifices mais aussi de zones de verdure et boisées. De plus, l'Université a obtenu l'accréditation internationale STARS, niveau or en développement durable, qui évalue les avancées des universités dans ce domaine au niveau recherche, organisation ou encore formation. L'Université Laval se classe donc première au Canada et neuvième au monde parmi les 300 établissements ayant fait cette évaluation.



Figure 1 : Campus de l'Université Laval

Un bref historique...

1663-1878 :

En 1663, Monseigneur de Laval fonde le Séminaire de Québec afin de former des prêtres venants de la colonie. Avec le temps, le besoin d'un enseignement de niveau universitaire s'impose de plus en plus et c'est en 1852, que la reine Victoria, signe la Charte royale pour que le Séminaire possède les droits d'Université : l'Université Laval est ainsi créée.

1920-1960 :

En plus des quatre facultés existantes, soit Médecine, Droit, Théologie et Arts, vont se rajouter six autres (Musique, Philosophie, Lettres, Sciences et Génie, Agriculture et Sciences sociales) ainsi que plusieurs écoles.

En 1925, l'Université doit migrer par manque de place. C'est ainsi que les plans de la cité universitaire sont conçus dès 1950 afin de regrouper tous les pavillons sur un seul campus.

1960-1970 :

L'essor de la recherche: les premiers centres de recherche ouvrent leurs portes, les laboratoires se multiplient et la fonction de professeur-chercheur s'implante.

1970-1972 :

L'Université Laval devient une université laïque et autonome.

1980-2000 :

Les collaborations internationales ainsi que les activités de coopération Nord-Sud se développent. L'Université Laval augmente sa visibilité dans le monde et attire un nombre croissant de chercheurs étrangers. De plus, les étudiants poursuivent en plus grand nombre des études de maîtrise et de doctorat.

2000- Aujourd'hui :

L'Université de pointe en matière de recherche et de création met tout en œuvre pour continuer à grandir et à s'affirmer sur les scènes québécoise, canadienne et mondiale.

I.2. modelEAU

modelEAU est le groupe de recherche autour de la chaire de recherche du Canada sur la Modélisation de la Qualité de l'Eau dirigé par professeur Peter VANROLLEGHEM depuis 2006. Les recherches portent notamment sur les aspects méthodologiques de la collecte de données ainsi que de leur évaluation. Cela permet ensuite de développer de nouveaux modèles pour l'optimisation des systèmes d'eau et de certains logiciels.

I.2-1. L'équipe

Faisant partie du département de génie civil et de génie des eaux, l'équipe *modelEAU* se compose de chercheurs post doctorants, de professionnels de la recherche mais aussi d'étudiants ou doctorants, en maîtrise et de stagiaires (Figure 2).



Figure 2 : Equipe *modelEAU* édition 2014

I.2-2. Les projets

Plusieurs projets sont en cours comme *monEAU* concernant les stations de mesures automatiques ou encore *dessableEAU* sur la caractérisation des vitesses de chute et des tailles de particules dans les dessableurs de prétraitement des eaux usées.

D'autres projets ont été réalisés comme *primeEAU* qui concerne la modélisation dynamique d'un décanteur primaire ainsi que *respirEAU* sur la respirométrie avancée pour la calibration d'un modèle de boue activée.

Le groupe de recherche travaille aussi en partenariat et reçoit des subventions d'entreprises du monde entier comme John Meunier (Filiale Véolia au Canada), Cemagref de Bordeaux mais aussi avec la Ville de Québec au niveau des stations d'épurations de la ville ou encore Environnement Canada.

Pour mener à bien ces projets, deux laboratoires sont à disposition et à partager avec d'autres départements de l'Université. De plus, les deux stations d'épuration de Québec travaillent en collaboration avec *modelEAU* et permettent à chacun d'effectuer des échantillonnages ou installations d'équipements sans perturber le fonctionnement des stations d'épuration.

II. Le stage

II.1. Rapport d'activité

Ce stage de recherche s'est déroulé au sein de l'Université Laval où la recherche est très présente avec des moyens matériels considérables. En tant que stagiaires, nous étions considérés comme étudiants ce qui nous permettait d'avoir les mêmes avantages que les autres étudiants de cette université. Les stagiaires étaient réunis dans un bureau avec des doctorants ou des étudiants en maîtrise (équivalent du master en France mais avec un projet de recherche qui dure 2 ans) ce qui permet d'échanger et de faire de nouvelles rencontres.

Chaque stagiaire possède son propre sujet de stage mais, lorsque l'on fait partie de l'équipe modelEAU, les campagnes d'échantillonnage qui ont lieu pendant l'été concernent tous les membres de l'équipe. Deux types de réunions étaient programmés en alternant un jeudi sur deux :

- Soit un Memos qui concerne des questions au niveau des logiciels de modélisation utilisés par les membres de l'équipe.
- Soit un cafEAU qui permet à chacun de présenter son travail ou un ancien projet pour un partage de connaissances.

II.1-1. Missions principales

Le sujet principal du stage était la caractérisation des vitesses de chutes et de taille de particules dans les dessableurs de traitements primaires des eaux usées. La prise en main du sujet commença par la lecture de nombreuses publications au sujet des deux protocoles à utiliser pour la détermination des vitesses de chute de particules dans les eaux usées mais aussi de leurs tailles.

La vitesse de chute de particules se détermine grâce au protocole ViCAs (Vitesse de chute en Assainissement) qui permet grâce à une colonne remplie d'eaux usées de déterminer la vitesse de décantation des particules à différents temps donnés. On obtient grâce à ce protocole une fraction massique cumulée (%) de particules en fonction d'une vitesse de chute (m/h).

En ce qui concerne la taille des particules, elle est déterminée avec le FBRM, un appareil équipé d'une sonde qui, connecté à un ordinateur, compte le nombre de particules pendant un certain temps et grâce à la vitesse de balayage il est possible d'obtenir une taille de particules. En couplant ces deux types de résultats, la masse volumique des particules peut être déterminée pour une caractérisation des particules plus précises.

a. Traitement de données et manipulation

Dans un premier temps, afin de se familiariser avec les fichiers de données concernant la caractérisation de particules, un mini projet m'a été confié. Il a fallu récupérer la base de données concernant la caractérisation d'un décanteur primaire effectuée en 2013 par d'autres stagiaires afin de manipuler et comprendre le traitement de données des résultats ViCAs et FBRM. Grâce à notre statut étudiant, nous avons accès au réseau de l'équipe modelEAU et donc à tous les fichiers sur les travaux effectués concernant cette caractérisation.

La récupération de données d'anciens stagiaires s'est avérée être un travail assez conséquent puisqu'il faut comprendre leurs façons d'organiser le fichier, comment ont-ils trouvé certains résultats, interpréter leurs courbes etc... Pour cela, leurs rapports de stage m'ont été utiles même si certains points nécessitaient parfois une explication plus précise.

La deuxième partie de l'apprentissage concernait l'utilisation du matériel de laboratoire pour la réalisation des deux protocoles de mesure. Avant de pouvoir manipuler au laboratoire, nous avons dû faire une demande d'accès avec badge mais aussi suivre une formation SIMDUT¹ et une visite du laboratoire par M. BISPING, responsable du laboratoire.

Deux étudiants en stage dans l'équipe modelEAU, travaillant sur un projet ViCAs, ont bien voulu m'apprendre à utiliser le matériel pour les ViCAs mais aussi comment traiter les données via un fichier excel prédéfini. Concernant l'appareil FBRM, l'apprentissage s'est fait grâce au SOP (Standard Operational Protocol) en testant des échantillons provenant de la station d'épuration de la Ville de Québec.

¹ SIMDUT : Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail, c'est la norme nationale canadienne en matière de communication des renseignements sur les dangers.

Suite à cette petite étape de formation, j'ai pu effectuer ce mini-projet portant sur la validation de la méthode de détermination de la masse volumique pour chaque classe de particules de chaque résultat ViCAs. Ce projet traitait de la manipulation de données : graphes sous le logiciel excel, calculs de moyennes pondérées, calculs de médiane, interprétation de données en utilisant toujours les données de 2013 obtenues par d'autres stagiaires. En annexe 1, nous pouvons voir un exemple du fichier de traitement et dans la partie II.2-4.b, le détail de la méthode de détermination de la masse volumique des particules.

Cette partie demandait beaucoup de rigueur mais aussi un effort au niveau de l'interprétation des données car lorsque le sujet est totalement inconnu, il faut s'adapter et apprendre petit à petit à le maîtriser. Cependant, pour la récupération de données d'anciens projets, chaque stagiaire devrait laisser des commentaires dans les fichiers Excel pour permettre à la personne suivante de comprendre plus rapidement ses intentions.

b. Projet : Influence de divers paramètres sur la taille des particules

Un autre mini projet a commencé à voir le jour mais il n'a pas pu être continué par la suite puisque le projet principal avait commencé. Ce mini projet concerne donc l'influence de divers paramètres sur la taille des particules dans les eaux usées. La température, le temps de stockage ainsi que l'agitation que peut subir l'échantillon sont des paramètres à observer pour éviter de fausser les résultats dans la mesure des tailles de particules. En effet, la taille des particules peut être modifiée si l'eau est stagnante, si l'agitation est trop forte ou encore si la température est trop élevée.

Il m'a été demandé de mettre en place un protocole expérimental et de l'appliquer en étant responsable de cette manipulation. Dans un premier temps, il m'a fallu trouver tout le matériel nécessaire pour mener à bien l'expérience en consultant les autres personnes du laboratoire car celui-ci est partagé avec d'autres départements de l'Université Laval. Ensuite, prévoir le temps nécessaire, consulter un autre membre de modelEAU pour se rendre à la station d'épuration et récupérer des échantillons au niveau du dessableur (Figure 3).



Figure 3 : Photo au niveau de la sortie du dessableur de la station d'épuration de la Ville de Québec.

La première fois, l'expérience s'est bien déroulée malgré un manque au niveau du matériel mais les résultats n'étaient pas assez précis. J'ai recommencé la manipulation mais malheureusement, même en prévenant que mon expérience devait fonctionner en continu pendant 48h, une personne du laboratoire a débranché l'appareil que j'utilisais. Les résultats étaient incomparable entre eux mais j'ai quand même terminé l'expérience et traité les données.

A la suite de ces deux points, une réunion avec le Professeur Peter VANROLLEGHEM et mon tuteur de stage a été organisée pour parler des résultats obtenus avec la manipulation des données ainsi que des deux mini projets qui ont eu lieu.

c. Caractérisation du dessableur

Mon projet principal fut la caractérisation du dessableur de la station d'épuration Est de Beauport de la Ville de Québec. En 2013, le projet primEAU concernait la caractérisation des particules dans un décanteur primaire. Pour effectuer mon projet, les techniques utilisées furent les mêmes que pour le projet primEAU c'est-à-dire, les tests ViCAs, les tests FBRM et le couplage de ces deux résultats.

Pour mener à bien ce projet, il est nécessaire de mettre en place une campagne d'échantillonnage pour déterminer quand et quel type d'eau nous allons caractériser. En me basant sur le comportement du débit d'eau en entrée de la station d'épuration, avec mon tuteur, nous avons décidé que les échantillons concerneraient des forts et des faibles débits pour pouvoir comparer le comportement des particules. Pour chacun des échantillons, un test ViCAs et un test FBRM seront effectués le jour même de l'échantillonnage car le comportement des particules change avec le temps.

Deux stagiaires devaient se rendre à la station d'épuration deux fois par semaine pour leurs propres projets, je me suis organisée pour y aller avec eux afin de programmer les échantillonneurs automatiques pour des programmes différés et ainsi, à chaque fois, récupérer les deux échantillons désirés. Il était nécessaire de louer une voiture pour se rendre à la station d'épuration alors il était préférable de rentabiliser en y allant en même temps que ces deux stagiaires.

Sachant qu'un test ViCAs dure en moyenne 4h30, il fallait partir tôt le matin pour récupérer les échantillons afin de lancer les deux ViCAs rapidement à mon retour. Cependant, il fallait que j'attende que les deux autres stagiaires terminent leurs tâches à la station d'épuration avant de pouvoir rentrer. Ainsi les tests n'étaient pas toujours lancés tôt le matin ce qui engendrait de très longues journées de travail.

Enfin, après cette journée de tests, il fallait saisir tous les résultats, traiter et interpréter les données mais aussi préparer et réserver le matériel pour la prochaine journée de test.

II.1-2. Missions secondaires

a. Campagnes d'échantillonnage 2014

Cet été, l'équipe de modelEAU a programmé plusieurs campagnes d'échantillonnage pour tester des capteurs de mesures, installés à la station d'épuration de la Ville de Québec, placés à l'entrée et la sortie du dessableur. Le but était de prélever des échantillons d'un litre grâce aux échantillonneurs automatiques sur une durée de 24h, avec un pas d'1h, pour effectuer des tests en laboratoire et les comparer aux mesures des capteurs.

Avant chaque campagne, une réunion était organisée pour mettre au point les tâches de chacun, déterminer quand la campagne pourrait avoir lieu en suivant la météo pour éviter les temps de pluie mais aussi pour expliquer quel type de test devrait être effectué.

Les capteurs et les échantillonneurs (Figure 4) étaient placés à trois endroits choisis : Au niveau du réseau, le poste Saint Sacrement et au niveau du dessableur de la station d'épuration, en entrée et en sortie de celui-ci. La veille du début de la campagne, il faut programmer les échantillonneurs pour qu'ils débutent l'échantillonnage tous les trois simultanément et à une heure convenable pour que, 24h plus tard, il soit possible de venir récupérer les échantillons ou d'en récupérer une partie au bout de 12h.



Figure 4 : Photo de l'échantillonneur automatique avec ces 24 flacons.

Ensuite, les flacons sont acheminés jusqu'au laboratoire de l'Université où seulement 10 flacons sur les 24 sont choisis pour être testés. Au total, 30 flacons pourront être analysés avec pour certains tests des triplicatas et d'autres des duplicatas. Par exemple, pour le test de MES, qui mesure la quantité de matières en suspension dans l'eau, il a fallu faire 90 filtrations ainsi que 90 pesées de filtres.

Les tests qui ont été fait sur ces échantillons sont :

- MES : Matières En Suspension présentes dans l'eau.
- DCO : Demande Chimique en Oxygène, mesure la charge polluante des eaux usées.
- MVeS : Matières Volatiles Sèches, partie volatile de MES.
- Azote ammoniacal : quantité d'azote minéral.
- Potassium présent dans l'eau usée.
- pH et conductivité de l'eau usée.

Ainsi pour la réalisation d'une campagne d'échantillonnage, il faut au minimum 3 personnes mais il est préférable d'être 5 pour que lorsque les premiers flacons arrivent à l'Université, les tests commencent directement et deux autres personnes peuvent aller chercher le reste des flacons.

J'étais en charge d'effectuer les tests MES/MVeS, celui du potassium et aussi d'aider au nettoyage de tous les flacons à la fin de la campagne d'échantillonnage. Le test MES demande une préparation des 90 filtres avant la campagne (triplicatas pour chaque flacon), ensuite il faut un certain temps d'attente après la filtration des eaux usées car ces filtres passent à l'étuve à 105°C pendant 1 à 2h pour ensuite reposer 30 minutes dans un dessiccateur² et enfin être pesés. Ces mêmes filtres sont ensuite mis dans un four à 550°C pendant 20 min avant d'effectuer les mêmes manipulations pour la pesée pour la détermination des MVeS.

Tout cela, demande un certain temps à être fait puisque le four à 550°C et le dessiccateur ne sont pas très grands. Il faut ainsi procéder petit à petit avec une certaine quantité de filtres.

De même, le test du potassium nécessite la filtration de l'échantillon puis une dilution et enfin l'ajout de 3 réactifs selon le protocole défini pour ce test. Il faut attendre 3 min puis prendre la mesure tout de suite. Chaque test a été fait deux fois pour les 30 flacons.

Ces campagnes d'échantillonnage demandent beaucoup de patience, d'organisation et aussi de rigueur car avec autant de tests à faire il ne faudrait pas tout mélanger et ainsi ralentir le bon déroulement de la campagne. Un des stagiaires avait comme mission de stage de réunir, traiter ces résultats et enfin faire une présentation à l'équipe.

² Récipient cylindrique en verre servant à protéger des substances contre l'humidité.

Malheureusement, cette année, l'installation des capteurs avait pris beaucoup de temps. Les campagnes ont donc eu lieu en Août, Septembre et Octobre. Les deux premières campagnes ont été faites par trois stagiaires dont moi, mais la dernière campagne a dû être faite par d'autres membres de l'équipe puisque les deux autres stagiaires avaient déjà terminé leur stage. J'ai dû ainsi expliquer et résumer aux autres membres comment s'était déroulé les deux campagnes précédentes même si je n'étais à la base qu'une simple aide dans ces deux campagnes. Ce fut un très bon exercice d'adaptation à la situation me faisant face.

b. Nettoyage des capteurs

Comme je l'ai dit précédemment, les deux stagiaires en charge de la maintenance des capteurs dans leur projet ont terminé leur stage avant moi, c'est-à-dire fin Septembre. Les capteurs, pour leur bon fonctionnement, demandent un nettoyage deux fois par semaine car au niveau du dessableur, les eaux sont encore très chargées et l'encrassement est rapide (Figure 5).



Figure 5 : Photo des capteurs encrassés avant nettoyage

Cette mission s'est rajoutée à mon emploi du temps pour la fin du stage. Avec l'arrivée d'un nouveau stagiaire, nous étions responsables du nettoyage des capteurs. La démarche à suivre m'avait été expliquée par l'un des stagiaires avant son départ définitif puisqu'il savait que j'allais reprendre la suite.

Pour cela, il nous fallait une bonne matinée puisqu'il faut se rendre à chaque emplacement, relever les capteurs et les nettoyer à grand jet d'eau. Ensuite, avec de l'eau distillée et du papier non abrasif, il faut les nettoyer un par un en veillant à bien enlever tous les déchets. Les capteurs sont reliés à un boîtier informatisé (Figure 6) qu'il faut vérifier avant le nettoyage.



Figure 6 : Photos des capteurs nettoyés (à gauche) et de la station monEAU (à droite).

Le point négatif lors du nettoyage des capteurs est que nous n'étions pas équipés de tenue spécifique comme un bleu de travail pour éviter les contaminations avec les eaux usées. Nous avons quand même des chaussures, un casque et des lunettes de sécurité, une blouse de laboratoire et des gants. Mais je pense qu'un bleu de travail éviterait la contamination de nos propres jeans et aussi un masque pour éviter les éclaboussures sur le visage lors du nettoyage. Par chance, je n'ai pas eu de problème de santé lié à mon travail en contact avec les eaux usées mais les deux autres stagiaires qui se rendaient la bas très souvent, ont eu un début de gastro-entérite sur une journée.

Pour conclure, je dirai qu'il est toujours enrichissant de ne pas faire qu'une seule mission au sein d'un stage. Cela nous permet d'acquérir d'autres compétences et d'être ainsi polyvalent. J'ai beaucoup apprécié le travail sur le terrain et les tests en laboratoire même si parfois, il y avait des risques de contamination par rapport à l'eau usée et qu'il faut être très prudent.

Il faut savoir s'adapter lorsqu'on récupère la mission des autres et s'organiser lorsqu'on doit compter sur les autres pour se rendre à la station d'épuration.

II.2. Rapport technique

II.2-1. Introduction

Les eaux usées sont chargées de plusieurs types de pollution dont les particules en suspension. La principale problématique dans le traitement des eaux est d'éliminer au maximum ces particules et d'optimiser les installations destinées à les éliminer.

Les dessableurs font partie des installations de prétraitement des eaux usées mais les études les concernant sont moins nombreuses. Ils n'ont jamais fait l'objet d'études approfondies car ils sont considérés comme peu influents et peu variables sur la suite du traitement. Auparavant, sa modélisation consistait la plupart du temps à faire des modèles très simples de type abaque. De nos jours, avec l'amélioration des connaissances et avec la volonté d'optimisation des procédés de traitements, l'étude et le contrôle de ces procédés sont devenus des objectifs clés. De plus, le dessablage est un procédé compatible avec la notion émergente de STEP³ à énergie positive c'est-à-dire les stations de demain.

Il faut savoir que de nombreuses études ont été faites sur les décanteurs primaires situés à la sortie des dessableurs dans les stations d'épuration pour caractériser les particules mais aussi dans le but de les optimiser.

En appliquant les méthodes d'analyses des décanteurs primaires, notre objectif a été de caractériser la vitesse de chute et les tailles des particules au niveau du dessableur mais aussi de valider le protocole du couplage de ces deux résultats pour la détermination des densités des particules.

II.2-2. Cas d'étude : La station d'épuration Est de Beauport

La Ville de Québec est située sur la rive Nord du fleuve Saint Laurent. Elle est traversée par la rivière Saint Charles. Elle est la seconde métropole de la province de Québec ainsi que sa capitale administrative. C'est au début des années 90, que la Ville de Québec décide de construire deux stations d'épuration afin de protéger ces divers cours d'eau [1].

³ Station d'épuration

a. Le traitement des eaux usées à Québec

Suite à la construction des stations d'épuration, un problème est survenu : la capacité de traitements des stations était limitée lors d'intempéries provoquant de nombreux déversements dans les milieux naturels. C'est ainsi que 14 bassins de rétentions ont vu le jour afin de maîtriser ces déversements pour garantir la protection de la rivière Saint Charles et du Saint Laurent.

Il faut savoir que les stations d'épuration à Québec sont soumises à des normes de rejets édictées par le Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du Territoire (MAMROT) selon la sensibilité du milieu récepteur. [2]

Concernant le réseau, il y en a deux que nous pouvons distinguer sur la figure 7 : Ouest et Est sur le territoire de la ville, qui sont reliés afin de rejeter les eaux dans le Saint-Laurent.

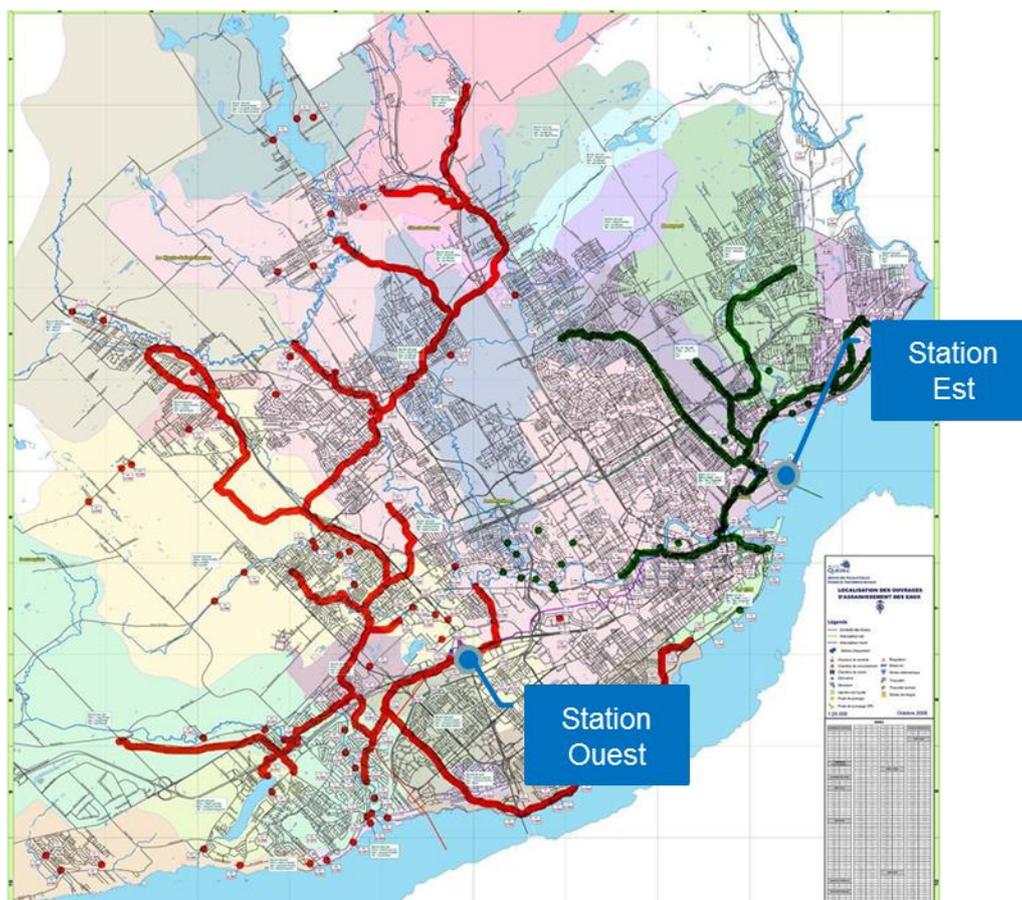


Figure 7 : Plan du réseau d'eaux usées de la ville de Québec

Les deux stations diffèrent par leur dimensionnement (voir figure 8 [1]) mais aussi le nombre d'équipement que chacune d'elle possède. Le traitement est le même pour la filière eau et le traitement des boues s'effectue à la station Est, il y a donc une conduite d'environ 12 km qui les achemine depuis la station Ouest vers l'Est.

	Population	Capacité de traitement maximale	
		Prétraitement	Traitement primaire et secondaire
Station Est	270 000 EH	721 000 m ³ /j	375 000 m ³ /j
Station Ouest	237 000 EH	505 000 m ³ /j	315 000 m ³ /j

Figure 8 : Tableau des capacités de traitement maximale des stations Est et Ouest.

b. Prétraitements des eaux usées : le dessableur

Notre étude ici porte sur le dessableur qui est situé après le dégrilleur⁴ et avant le décanteur primaire. L'objectif du dessablage est la séparation des matières organiques et inorganiques. En effet, une trop grande fraction inorganique dans la chaîne de traitement (primaire et secondaire) peut avoir comme conséquence la diminution de la performance de traitement et aussi une usure précoce des pompes.

Durant cet été, des campagnes d'échantillonnage ont été menées au niveau du réseau et de la station d'épuration Est de Beauport. Des capteurs de mesures ont été placés à ces endroits spécifiques afin d'être testés mais aussi pour avoir des données caractéristiques des eaux usées à ces endroits.

Sur la figure 9 ci-dessous, une partie de la station d'épuration, plus précisément le début du traitement, est représentée : le dégrilleur, les dessableurs et le décanteur primaire. Le sens de la flèche, représentée sur la figure, montre le sens de l'écoulement des eaux usées dans le traitement.

⁴ Permet d'éliminer les déchets volumineux présents dans les effluents.

De plus, les deux blocs rouges représentent les deux échantillonneurs automatiques placés en entrée et en sortie du dessableur situé au milieu. Celui-ci a été choisi grâce à des tests sur l'ensemble des dessableurs car c'est celui qui subit le moins de contraintes liées au retour des boues. Ces boues proviennent d'autres équipements dans la suite du traitement comme les épaisseurs de boues, le laveur de sable et le concentrateur d'écumes.

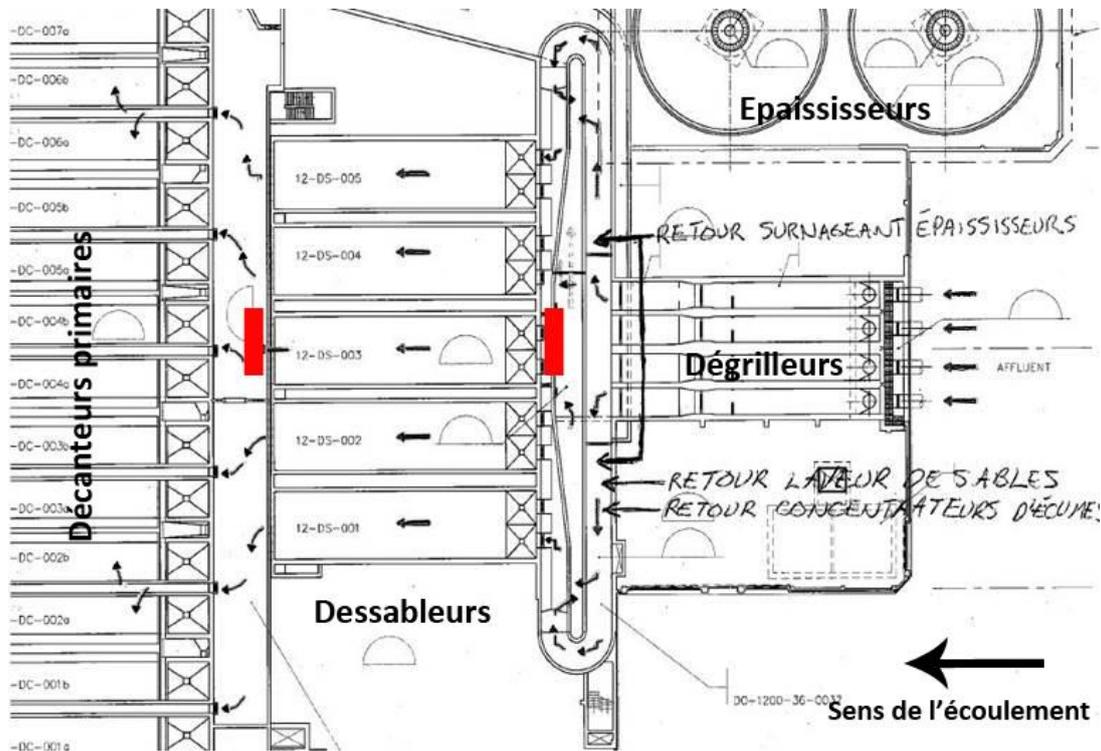


Figure 9 : Plan vue de dessus de la station d'épuration Est de Beauport.

Le fonctionnement du dessableur est simple : en surface, il y a raclement des graisses et en profondeur, il y a raclement du sable, des graviers. Le dessableur est un milieu hétérogène que nous allons tenter de caractériser.

II.2-3. Méthodes et matériels utilisés pour le projet

La caractérisation des vitesses de chute et des tailles de particules au niveau du dessableur a pu avoir lieu grâce à l'application des protocoles utilisés par modelEAU pour la caractérisation des particules pour les décanteurs primaires. Il a été nécessaire d'étudier chaque protocole et de réaliser des expériences pour apprendre à utiliser correctement ces divers outils de mesures.

a. Caractérisation des vitesses de chutes de particules : Protocole ViCAs

Le protocole ViCAs (Vitesse de Chute en Assainissement) initialement utilisé pour mesurer les vitesses de chute de sédiments en suspension présents dans les eaux de ruissellement est, dans notre cas, utilisé dans les eaux usées pour la mesure des vitesses de chute des particules en suspension. Cette méthode a été établie en 2009 en France [3] après l'obtention de résultats de répétabilité et de précision satisfaisants. La vitesse de chute est un paramètre fonction de propriétés physiques comme la taille des particules, leur densité ou encore leur forme.

a-1) *Principe*

La méthode ViCAs va permettre d'obtenir une distribution des vitesses de chute des particules. Le principe est de mesurer la masse de matières qui décantent en pied de colonne en fonction du temps.

Une colonne verticale en PVC, voir figure 10, est remplie avec un échantillon d'eaux usées de 5 litres à l'aide d'une pompe à vide. Il est supposé que la suspension est homogène et que les particules décantent indépendamment les unes des autres, sans diffusion et sans agglomérats.

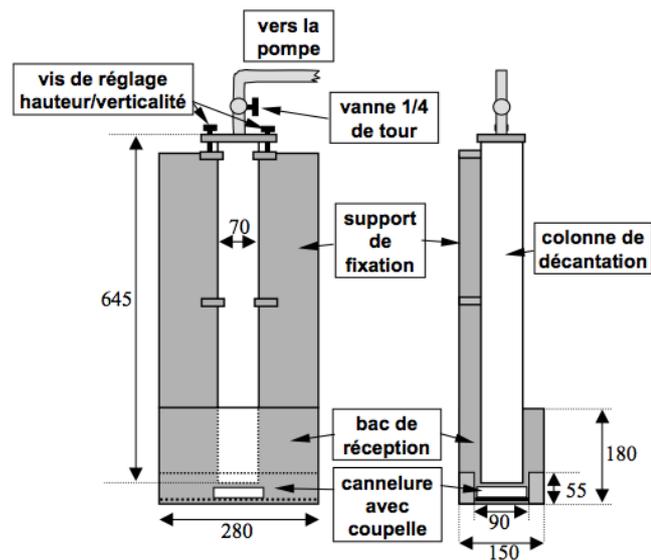


Figure 10 : Schéma de la colonne verticale du protocole ViCAs (vue face et côté).

A noter qu'une bonne agitation de l'échantillon avant le remplissage permettra d'obtenir une bonne répartition des particules sur toute la hauteur de la colonne.

La colonne est sous vide pendant toute la durée de l'expérience. Les particules décantées seront récupérées, selon des périodes de temps définies, dans une coupelle placée en bas de la colonne et de même diamètre que celle-ci. Les coupelles, initialement remplies d'eau distillée sont placées sous la colonne, dans le bac de réception, à tour de rôle selon les temps de décantation.

Les échantillons des coupelles sont ensuite filtrés selon le protocole MES utilisé dans le protocole ViCAs (Annexe 2) afin d'obtenir la quantité de matière en suspension à chaque temps de décantation. Tous les résultats sont notés sur une feuille spécialement faite pour le test ViCAs (voir Annexe 6).

a-2) Interprétations des résultats

Une feuille de calcul excel (voir figure 11), créée par M.C Gromaire (CEREVE), permet d'obtenir la masse de particules décantées en fonction du temps et une macro Solveur permet d'ajuster les résultats grâce à la méthode des moindres carrés.

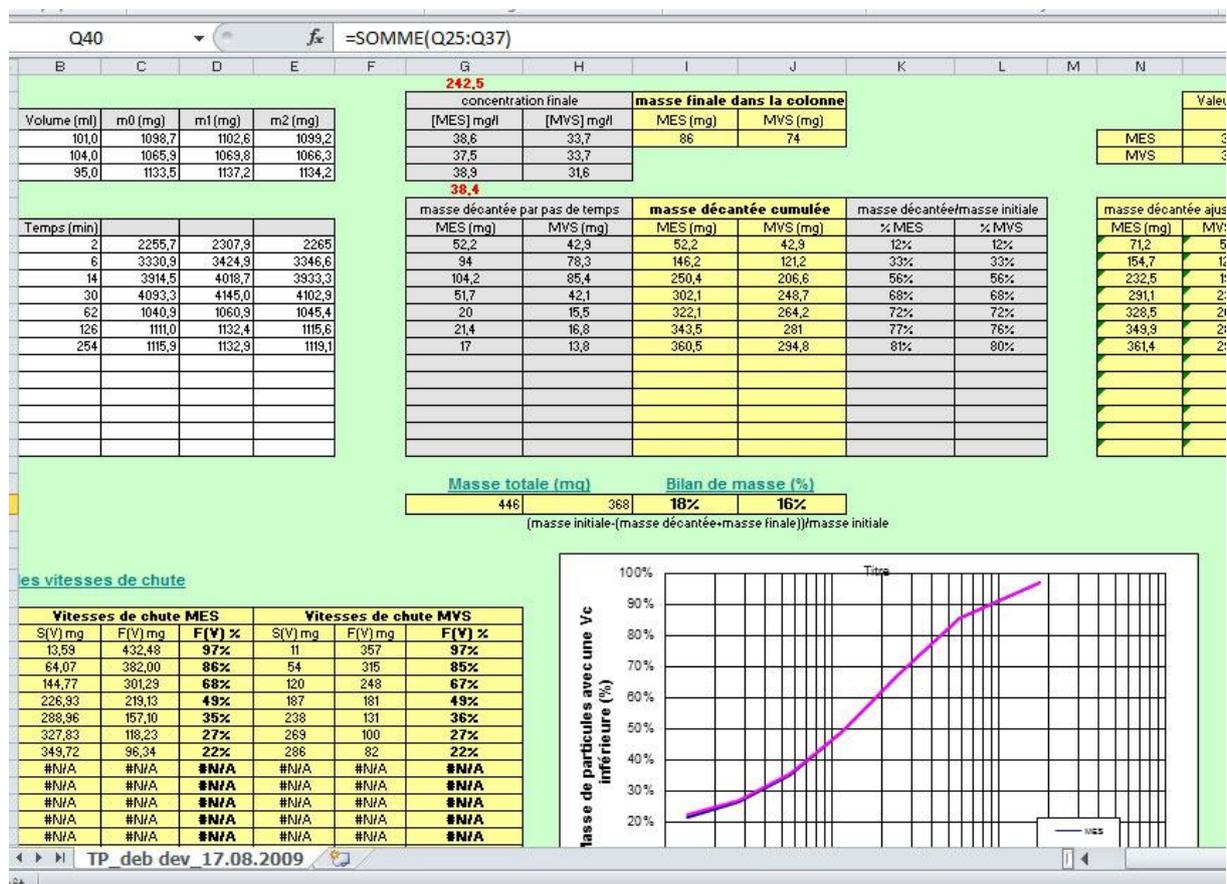


Figure 11 : Capture d'écran du fichier excel pour le traitement des résultats ViCAs

De plus, la feuille de calcul permet d'obtenir la fraction cumulée de masse de particules en fonction des vitesses de chute. Ainsi, il est possible de représenter cette courbe et de déterminer le pourcentage de masse de particules ayant une vitesse de chute inférieure à 1 m/h par exemple.

Un dernier point au niveau des résultats, il faut obtenir un bilan de masse compris entre $\pm 15\%$ pour avoir des résultats exploitables. Le bilan de masse permet de déterminer le pourcentage d'erreur sur la quantité de matière qui a décantée dans la colonne. De même, la masse décantée doit au minimum correspondre à 70% de la masse initiale de particules présentes dans la colonne.

b. Caractérisation des tailles de particules : Protocole FBRM

Un autre paramètre important pour la caractérisation des particules c'est évidemment leur taille. La mesure des tailles de particules est un domaine complexe puisque les particules ici ne sont pas toutes de la même forme ni du même diamètre. Plusieurs techniques de mesures existent comme l'analyse d'image, le counter coulter : appareil destiné à compter les particules et à en mesurer la taille ou encore la diffraction par laser. Dans notre cas, la technique par granulométrie laser a été choisie.

b-1) *Principe de mesure*

Le FBRM [4] (Focused Beam Reflectance Measurement) Lasentec D600R (Figure 12) est un appareil constitué d'une sonde laser qui sera immergée dans l'échantillon, d'une hélice permettant une bonne homogénéité de l'échantillon et d'un ordinateur équipé du logiciel pour la récupération des données.

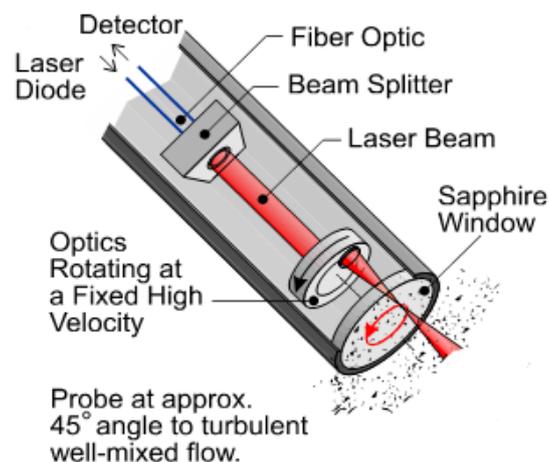


Figure 12 : Schéma de coupe de la sonde laser FBRM.

Le principe de mesure se base sur le phénomène de réflexion de la lumière : lorsqu'une onde lumineuse rencontre un obstacle opaque ou partiellement opaque, celle-ci est réfléchi. C'est ainsi que la lumière émise par la sonde laser, réfléchi au contact d'une particule, est captée par la cellule photosensible de l'appareil FBRM avant d'être traité ensuite par l'unité centrale.

Plus précisément, le FBRM va mesurer le temps pendant lequel la lumière sera réfléchi d'un bout à l'autre de la particule (voir figure 13). Ce temps sera ensuite multiplié par la vitesse de balayage afin d'obtenir une distance appelée longueur de corde : distance entre les deux extrémités d'une particule.

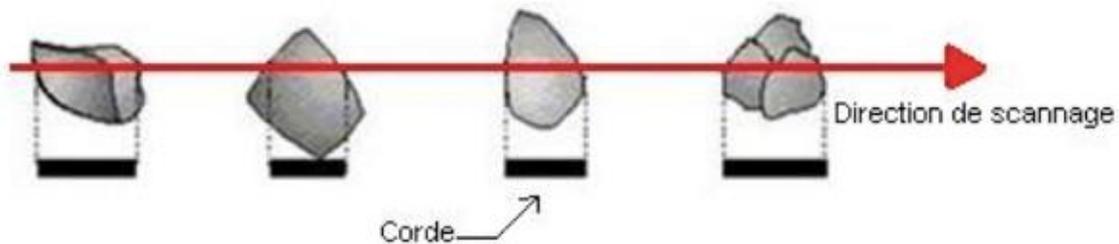


Figure 13 : Schéma représentant le sens de passage du laser FBRM.

L'appareil va détecter plus d'une dizaine de milliers de cordes par seconde (#/s), ce qui permet par la suite d'obtenir une distribution des longueurs de corde en temps réel présents dans l'échantillon. Pour une meilleure représentation, il est possible de tracer les courbes du nombre de détection de particules par seconde (#/s) en fonction des longueurs de corde (voir figure 14).

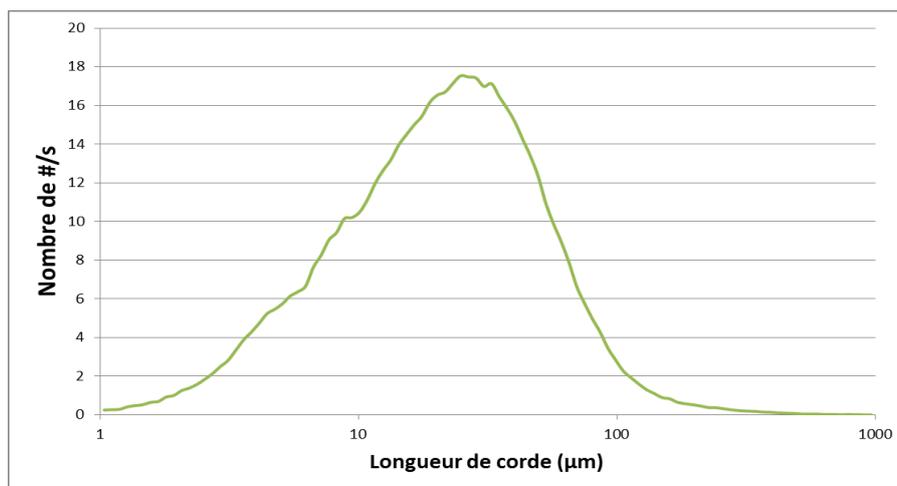


Figure 14 : Exemple de courbe obtenue via le logiciel du FBRM.

Pour les mesures, il suffit d'environ 300 mL d'échantillon que l'on place dans un bécher fourni avec l'appareil FBRM (Figure 15). On place la sonde et l'hélice dans le bécher puis on lance la mesure via le logiciel en suivant le mode opératoire établi par modelEAU. (Annexe 3) [5].



Figure 15 : Photos de l'équipement de mesure des tailles de particules Laser (à gauche) et logiciel (à droite).

Les résultats seront soit des données pondérées soit des données non pondérées. Les données pondérées représentent les grosses particules. Ce sont les données brutes (particule par seconde) qui sont transformées par un calcul en quantité volumique pour une meilleure estimation. Avec le logiciel, il est possible d'obtenir les données pondérées sous forme de fractions massiques cumulées ce qui nous servira dans la partie suivante.

c. Relation entre les vitesses de chutes et des tailles de particules

Comme dit précédemment, la vitesse de chute des particules va dépendre de plusieurs paramètres sur les particules mais aussi sur la nature du fluide dans lequel elles se trouvent. Plusieurs modèles existent pour déterminer la vitesse de chute des particules comme le modèle de Stokes (1) qui est valable pour des particules de forme sphérique et un écoulement laminaire [6].

$$V_s = \frac{g * d^2 * (\rho_p - \rho_e)}{18 * \mu} \quad (1)$$

Avec:

- V_s : La vitesse de chute des particules (m.s^{-1});
- ρ_p : La masse volumique des particules (kg.m^{-3});
- ρ_e : La masse volumique du fluide (kg.m^{-3});
- g : L'accélération de la pesanteur (m.s^{-2});
- d : Le diamètre des particules (m);
- μ : la viscosité dynamique du fluide (pa.s).

Grâce à cette relation, il serait possible de déterminer la masse volumique des particules avec les résultats obtenus avec les tests FBRM et les tests ViCAs. Pour cela, il faut coupler les résultats des vitesses de chute des tests ViCAs avec ceux des tailles de particules du FBRM.

Dans un premier temps, il faut savoir que les résultats ViCAs sont sous forme de $f(V_s) = \% \text{masse}$ avec V_s , la vitesse de chute et $\% \text{masse}$, la fraction massique cumulée. De même, les résultats FBRM sont sous forme $f(\text{corde}) = \% \text{masse}$ avec corde, la longueur de corde et $\% \text{masse}$, la fraction massique cumulée. Pour fusionner les deux résultats, il faut donc ramener l'axe Y ($\% \text{masse}$) autour d'une même unité.

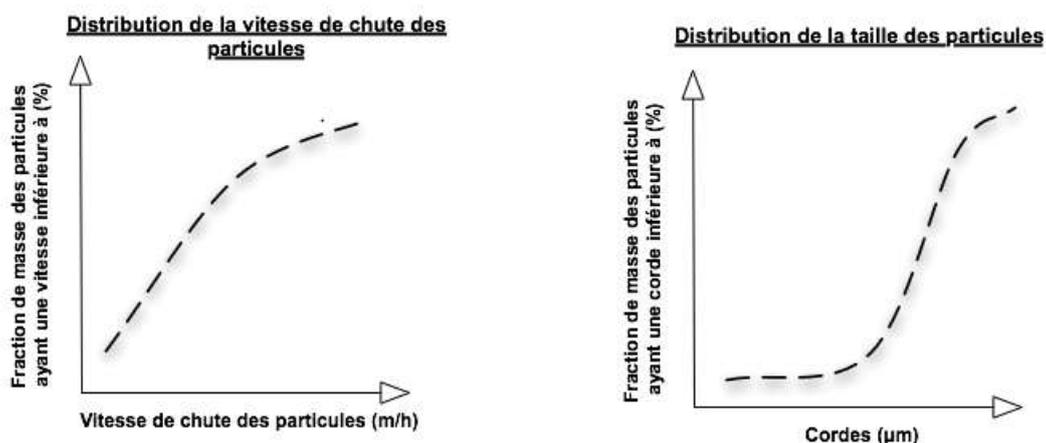


Figure 16 : Courbes des distributions de vitesses de chute et des tailles de particules.

Ainsi, avec ces deux courbes (Figure 16 et 17), il est possible de faire correspondre pour un même pourcentage de fraction massique cumulée, une longueur de corde et une vitesse de chute. (Annexe 4).

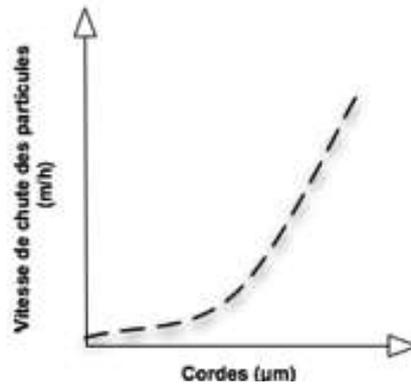


Figure 17 : Courbe résultante du couplage donnant la vitesse de chute en fonction de la corde.

En faisant l’hypothèse que les particules sont de formes sphériques dans l’eau usée, on peut grâce à l’équation de Stokes et en remplaçant le diamètre de la particule par la longueur de corde, obtenir la masse volumique en fonction de la vitesse de chute et de la longueur de corde des particules. (Annexe 4)

De plus, dans l’équation de Stokes, il manque les valeurs de la masse volumique de l’eau ρ_f et de sa viscosité dynamique μ_f . Ces valeurs seront déterminées par la relation donnant les évolutions de ces deux grandeurs en fonction de la température de l’eau T (°C) fournies pour le logiciel ProPhy Plus (2) et (3).

$$\rho_f = (0,00001517 * T^3 - 0,005821 * T^2) + (0,01475 * T) + 1000 \quad (2)$$

$$\mu_f = (-0,00000000249 * T^3) + (0,0000005597 * T^2) - (0,0000459 * T) + 0,001736 \quad (3)$$

En résumé, on obtient pour chaque valeur de vitesses de chute : une longueur de corde et une masse volumique. A noter que la température utilisée pour les calculs a été établie à 20°C.

Nous allons aborder maintenant la partie décrivant la campagne d’échantillonnage autour de la caractérisation des particules dans le dessableur.

d. Campagne d’échantillonnage pour la caractérisation des particules

A chaque été, des campagnes d’échantillonnage sont menées avec l’équipe de modelEAU à la station d’épuration Est de Beauport. La première a eu lieu vers la mi-Août 2014. Il faut échantillonner pendant 24h, par temps sec, avec un pas de temps de 1h pour chaque flacon de 1 litre et effectuer des tests en laboratoire pour les comparer aux mesures faites par les capteurs installés au même niveau que les échantillonneurs.

Suite cette première campagne, trois périodes idéales pour prélever les échantillons du dessableur ont été constatées. Il y a deux périodes dans une journée où le débit en entrée de la station d'épuration est à son maximum c'est-à-dire environs $160 \text{ m}^3/\text{min}$ à 10h et à 21h. Mais il y a aussi une période où le débit en entrée est à son minimum à $90 \text{ m}^3/\text{min}$ à 4h. Cela s'explique par le fait que le matin vers 8h et le soir vers 19h, les sanitaires sont très utilisés par la population (ce sont les heures de pointe) tandis qu'à 2h, la population n'est plus active. Le temps de l'acheminement des affluents à la station, le débit sera à son maximum à 10h et 21h et à son minimum à 4h.

Grâce à ces informations, nous avons pu prélever des échantillons en respectant ces débits afin d'observer les différences entre un fort et un faible débit au niveau du dessableur choisi dans la partie II.2-2 mais aussi en évitant les temps de pluie qui provoquent de grosses variations au niveau de la qualité de l'eau lors des analyses.

Comme nous l'avons expliqué précédemment (II.2-2.b), deux échantillonneurs automatiques ont été placés en amont et en aval du dessableur au même niveau que les capteurs de mesures. Sachant que deux autres stagiaires se rendaient obligatoirement à la STEP deux fois par semaine pour le nettoyage des capteurs de mesures, il était alors possible de programmer les échantillonneurs à chaque visite pour récupérer l'échantillon désiré à la prochaine visite. Deux échantillons, d'environ 6 litres chacun et correspondant à l'entrée et à la sortie du dessableur, étaient récupérés puis ramenés à l'université pour démarrer le test ViCAs le plus tôt possible car le test ViCAs dure environ 4h. En parallèle, les deux tests FBRM étaient aussi effectués toujours pour les échantillons d'entrée et de sortie du dessableur.

Les jours suivants les tests étaient destinés à la pesée des filtres, à la saisie et au traitement des données mais aussi à la préparation de filtres (Annexe 2) pour la prochaine journée de tests.

II.2-4. Résultats et discussions

Cette troisième partie réunit tous les résultats obtenus tout au long de ce stage concernant ces deux principales missions autour de la caractérisation du dessableur.

a. Caractérisation des particules dans le dessableur

Cette partie va aborder les résultats obtenus suite à la campagne d'échantillonnage, détaillée dans la partie II.2-3-d, réalisée à l'entrée et à la sortie du dessableur de la station Est de Beauport.

a-1) *Résultats au niveau de la vitesse de chute des particules : test ViCAs*

Comme nous l'avons vu dans la partie II.2.3-d, les échantillons ont été pris à l'entrée et la sortie dessableur à différentes heures où le débit entrant à la station était soit à son maximum soit à son minimum. A noter que deux échantillons sont pris le même jour pour la même heure avec selon les échantillons un écart de 15 min pour correspondre au temps de séjour dans le bassin.

Les graphes (Figure 18) ci-dessous représentant la fraction massique cumulée de particules en fonction de la vitesse de chutes de ces particules. Dans un premier temps, une comparaison entre les deux graphes de 21h :

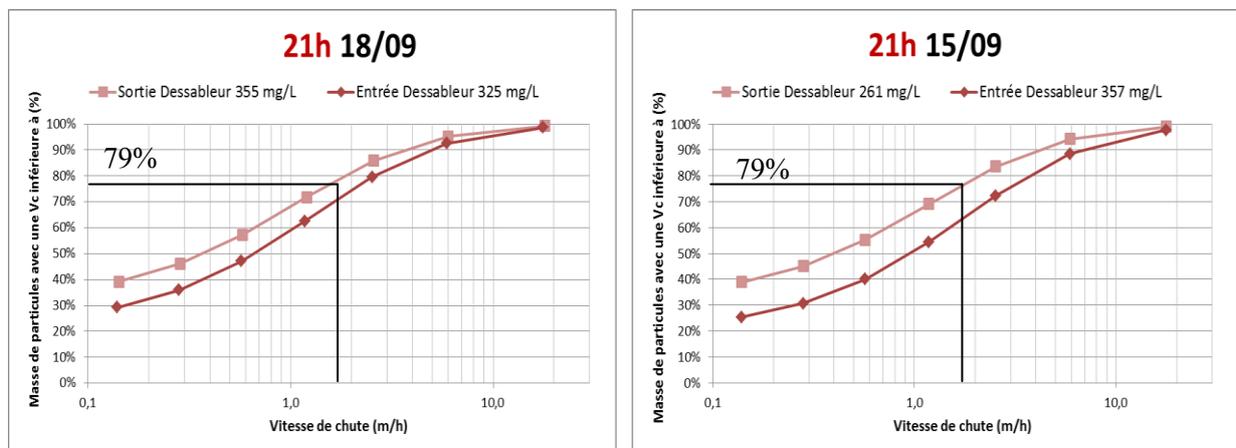


Figure 18 : Graphes des résultats ViCAs de deux tests de 21h.

Comme pour le décanteur primaire [7] et comme il était attendu, la courbe de sortie du dessableur est située au-dessus de celle de l'entrée ce qui signifie que les particules décantent plus lentement en sortie du dessableur. Nous constatons en traçant la vitesse de sédimentation moyenne (1,6 m/h) indiquée dans la littérature [8], que pour ces deux graphes, il y a environ 79% de la masse des particules qui ont une vitesse de chute inférieure à 1,6 m/h. Les courbes ont un comportement semblable et cohérent. Comme il a été dit, dans le fond du dessableur, des particules ont été retenues puis éliminées par le dessableur.

Concernant les graphes de 10h et de 4h, nous avons une différence marquante :

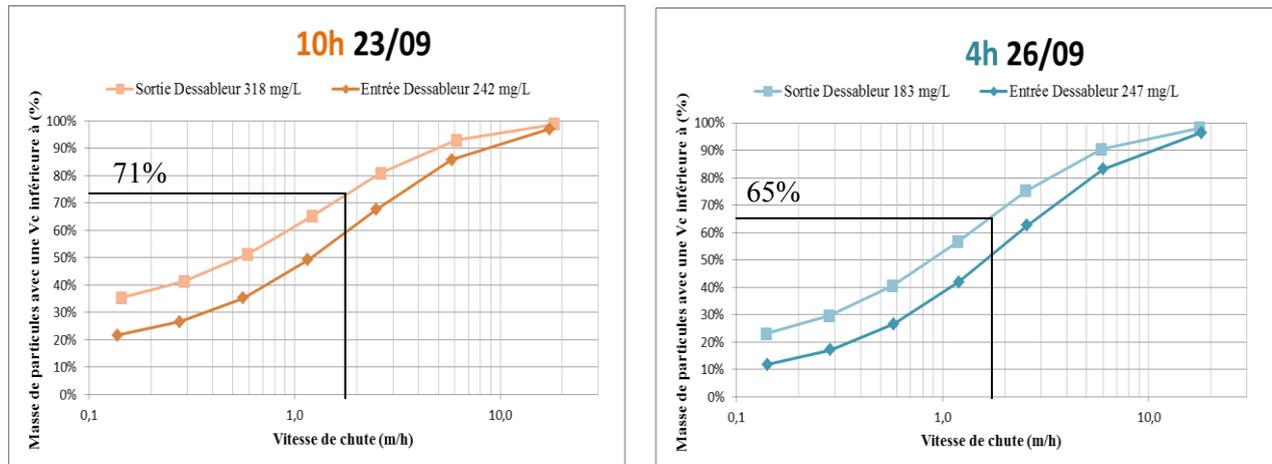


Figure 19 : Graphes des résultats ViCAs de deux tests de 10h et 4h.

Nous remarquons (Figure 19) qu'à 10h, 71% de la masse des particules ont une vitesse de chute inférieure à 1,6 m/h alors qu'à 4h, il n'y a que 65% de la masse des particules.

En comparant les quatre graphes, nous constatons que l'écart entre la courbe de sortie et la courbe d'entrée du dessableur est assez faible (environ 10%) ce qui confirme bien que les particules n'ont pas le temps de décanter dans le dessableur à cause du temps de séjour très court mais il y a quand même une fraction de particules à forte vitesse de chute qui est éliminée.

De plus, nous pouvons déduire de ces résultats que les particules chutent plus rapidement à bas débit en sortie dessableur ce qui est totalement cohérent. Pour confirmer cette déduction, nous avons tracé les vitesses de chute médiane selon les différents horaires et nous obtenons les graphes de la figure 20.

La vitesse de chute médiane est obtenue par interpolation linéaire en prenant la vitesse de chute correspondante à une fraction massique de 50%.

En entrée et en sortie du dessableur, nous remarquons que la vitesse de chute médiane diminue lorsque le débit augmente. De plus, nous observons une diminution de la vitesse de chute à la sortie du dessableur.

Les graphes ViCAs et les graphes ci-contre se complètent car ils confirment bien que la vitesse de décantation des particules augmente lorsque le débit est faible.

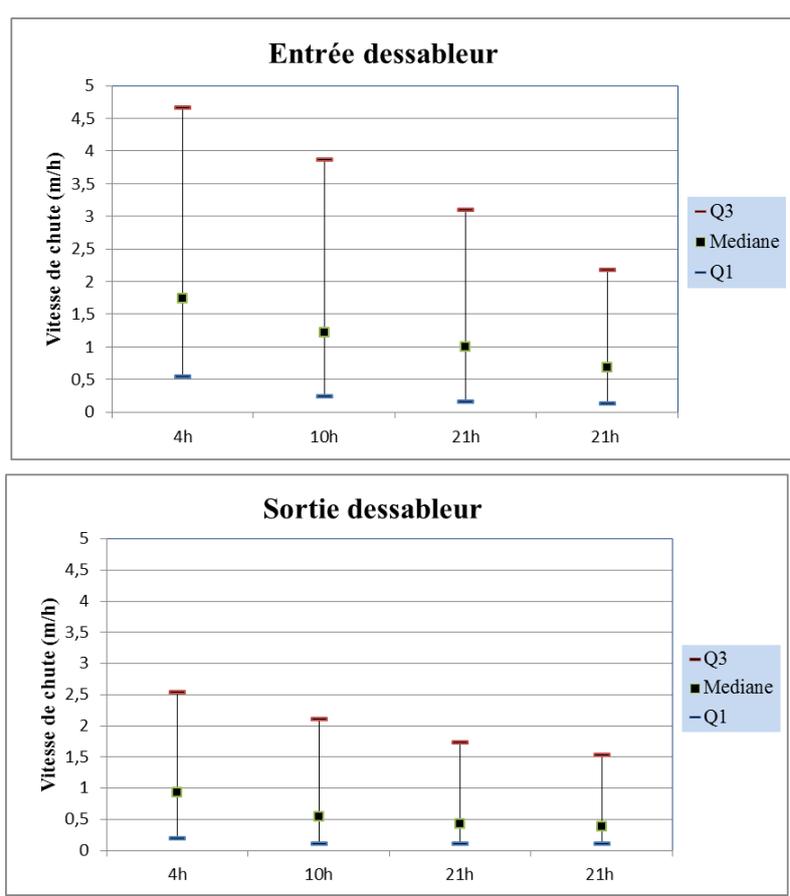


Figure 20 : Graphes représentant les médianes et les quartiles des vitesses de chute en entrée et en sortie dessableur.

Grâce aux valeurs ViCAs retrouvées dans la littérature [8] concernant le décanteur primaire et les résultats obtenus par cette campagne, il a été possible de déterminer des zones réunissant toutes les courbes ViCAs obtenues. (Figure 21)

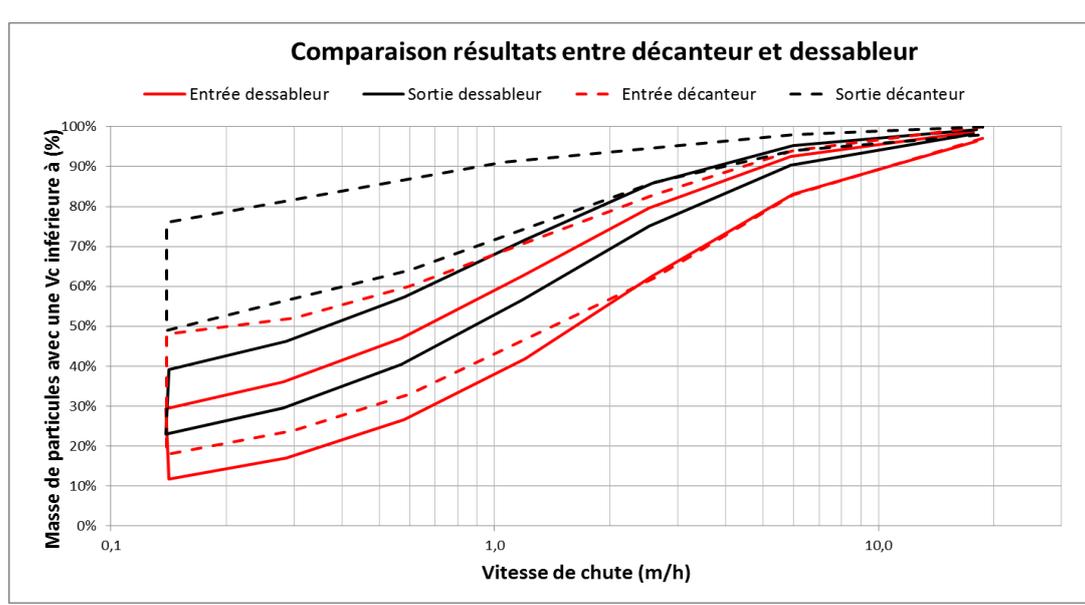


Figure 21 : Graphe représentant les zones de résultats du décanteur et du dessableur.

En pointillés, ce sont les zones en entrée et en sortie du décanteur primaire. La zone correspondante à la sortie du décanteur est située en haut du graphe ce qui signifie que la majorité des particules ont été éliminées dans la décantation. Les deux zones du décanteur sont très bien séparées ce qui confirme qu'une grande fraction de particules est éliminée.

Au contraire, pour le dessableur, nous observons deux zones qui se chevauchent à certaines valeurs, une fois de plus, il est possible de confirmer qu'une petite fraction de particules a été éliminée, cela confirme le rôle du dessableur. Cependant, le résultat le plus important se trouve dans la figure 22 :

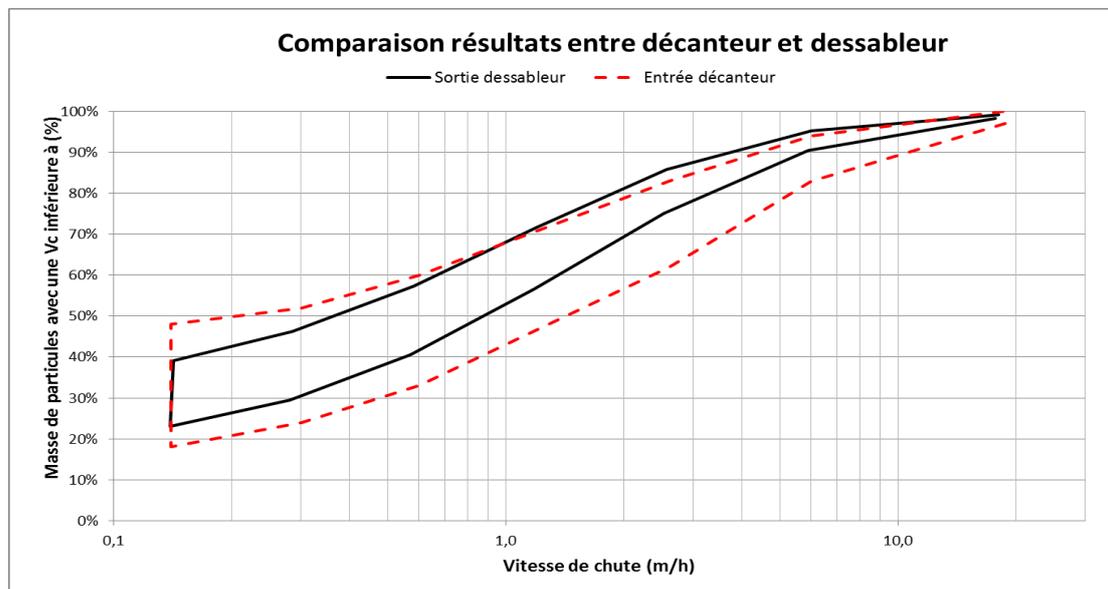


Figure 22 : Graphe représentant les zones de résultats de l'entrée décanteur et de la sortie dessableur.

L'entrée du décanteur et la sortie du dessableur, c'est la même partie du traitement. Les résultats obtenus montrent que la zone de sortie du dessableur est placée à l'intérieur de la zone de l'entrée du décanteur. Les tests ont permis de confirmer la réalité sur le comportement du dessableur.

a-2) Résultats au niveau de la taille des particules : Test FBRM

Abordons maintenant les résultats concernant les tests FBRM en gardant les mêmes horaires que pour les analyses des résultats ViCAs pour une interprétation cohérente.

Nous prendrons les données pondérées pour l'exploitation des résultats afin de faciliter l'interprétation puisque cela correspond à observer les grosses particules. Seulement quatre expériences ont été choisies pour représenter les résultats puisqu'elles étaient les plus conformes et n'avaient subi aucune contrainte.

Dans un premier temps, nous observons l'entrée dessableur avec la figure 23 :

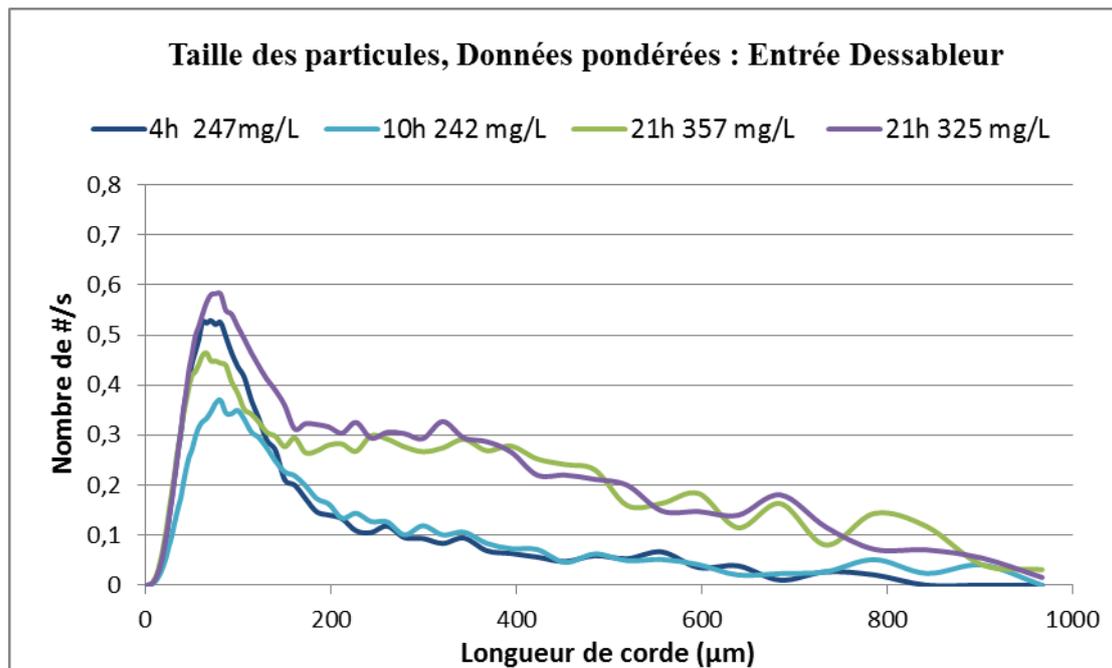


Figure 23 : Courbes obtenues pour la distribution des tailles de particules en entrée dessableur pour des échantillons récoltés à certaines heures et certaines concentrations.

Nous avons ici le nombre de détection de particules par seconde en fonction de la longueur de corde selon les différentes heures. Pour chacune des courbes, la concentration en MES apparaît dans la légende.

Pour rappel, à 4h nous sommes à bas débit tandis qu'à 10h et 21h nous sommes à fort débit. Dans l'ensemble, les courbes ont le même comportement c'est-à-dire qu'entre 0 et 200 µm, les petites particules sont en quantités importantes et au niveau des grosses particules il y a une répartition équitable des tailles. Nous observons un pic à 100 µm puis une diminution du nombre de détection plus la longueur de corde augmente.

De plus, les courbes correspondant à 21h ont des profils similaires avec un léger décalage dû certainement à l'hétérogénéité du milieu. Cependant, la courbe de 10h est bien en dessous des trois autres courbes alors qu'il est supposé que les particules amenées par le réseau à fort débit seront plus grosses car l'énergie effective pour le transport des particules est plus fort.

Nous allons maintenant observer la sortie du dessableur avec la figure 24 :

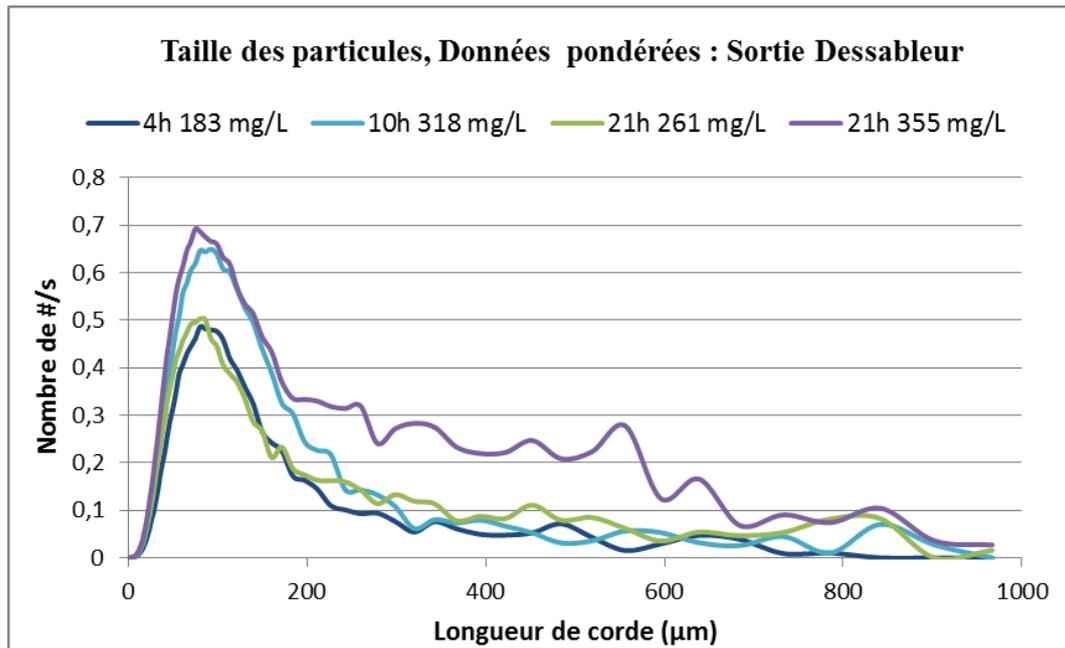


Figure 24 : Courbes obtenues pour la distribution des tailles de particules en sortie dessableur pour des échantillons récoltés à certaines heures et certaines concentrations.

Cette fois, nous remarquons que les courbes de 10h et de 21h (en violet) sont les plus élevées au niveau des petites particules mais les courbes ont encore une fois un comportement semblable entre elles. En regardant les quantités en MES, nous constatons qu'elles sont plus élevées aussi pour 10h et 21h (en violet) ce qui confirme les quantités élevées en petites particules.

Afin de mieux comprendre ce qu'il se passe au niveau du dessableur, nous allons maintenant comparer les deux graphes (Figure 25) entre eux :

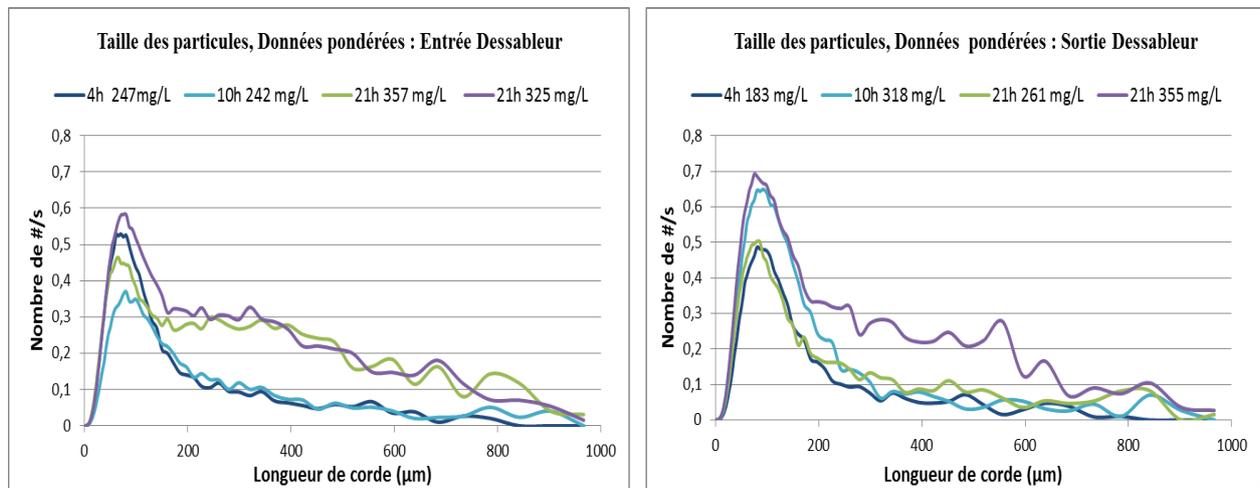


Figure 25 : Comparaison des graphes des figures 23 et 24.

En comparant l'entrée et la sortie du dessableur, nous constatons qu'au niveau des courbes de 4h et de 21h (vert), il y a une légère diminution du nombre de petites particules ce qui signifie que le dessableur a bien éliminé une partie des particules.

Cependant, nous observons une augmentation de la quantité en MES pour les courbes de 10h et de 21h (violet) en sortie par rapport à l'entrée ainsi qu'une augmentation du nombre de petites particules. Rappelons que le dessableur a pour but d'éliminer les particules comme le sable avant le décanteur primaire qui va lui éliminer la quasi-totalité des particules présentes dans l'effluent. Ces augmentations peuvent s'expliquer par le fait que lorsque ces deux échantillonnages ont eu lieu, il y a eu des opérations de décolmatage d'un décanteur primaire signifiant qu'il y a pu avoir une remise en suspension des certaines particules en entrée du décanteur qui correspond à la sortie du dessableur.

En conclusion de cette analyse, nous pouvons dire qu'il y a majoritairement la présence de petites particules mais le milieu est tellement hétérogène qu'une caractérisation précise de la taille des particules s'avère difficile. Il faudrait effectuer plus de tests sur une période plus longue pour une bonne observation du comportement des particules.

Il nous reste un dernier point à observer avant de pouvoir conclure : le couplage des résultats.

a-3) Couplage des données ViCAs/FBRM

Pour coupler les résultats (Annexe 4), nous utilisons la méthode vu précédemment puis nous traçons les courbes représentant la vitesse de chute des particules en fonction de la longueur de corde.

A noter que pour ces graphes les courbes noires en pointillées désignent les courbes minimum et maximum des vitesses de chute tracées avec les masses volumiques tirées de la littérature soit 1,010 et 1,115 g/cm³ vu dans la partie II.2.3-c.

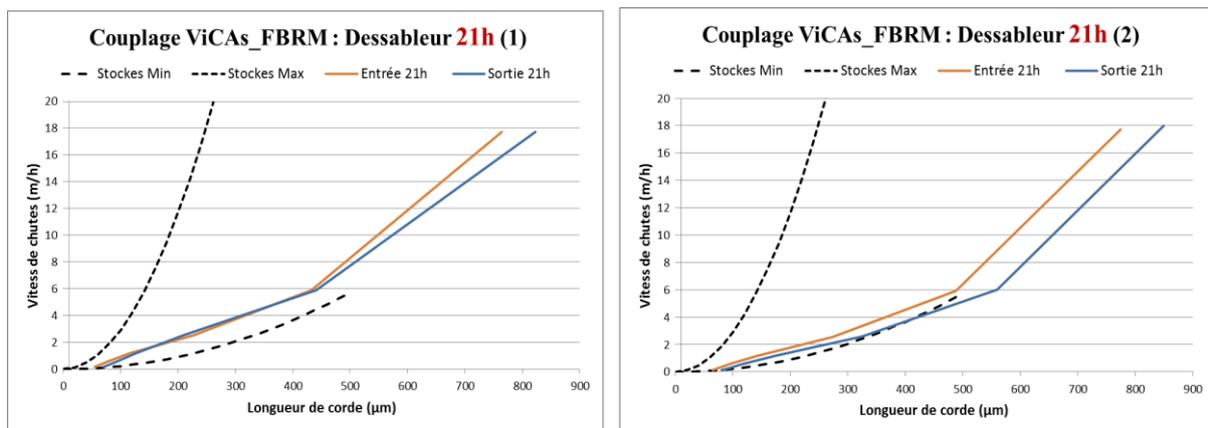


Figure 26 : Graphes des couplages ViCAs/FBRM pour de deux tests à 21h.

Nous pouvons dire que les courbes pour les 21h se ressemblent malgré une légère superposition pour le graphe 1 de la figure 26 dû au fait qu'il n'y ait eu aucun temps de séjour entre le prélèvement en entrée et celui en sortie ce jour-là. Le temps de séjour est le temps que va mettre l'eau usée à traverser le dessableur. En prenant en compte ce temps, la mesure est plus représentative car l'eau en sortie est normalement celle qui était en entrée quelques minutes plus tôt.

Aussi, nous pouvons remarquer que pour une même longueur de corde comme par exemple 400 µm, la vitesse de chute est d'environ 6 m/h pour les deux graphes. Enfin, le déplacement observé entre la courbe en entrée et celle de la sortie signifie une modification de la masse volumique.

En ce qui concerne les graphes de la figure 27 pour 10h et 4h :

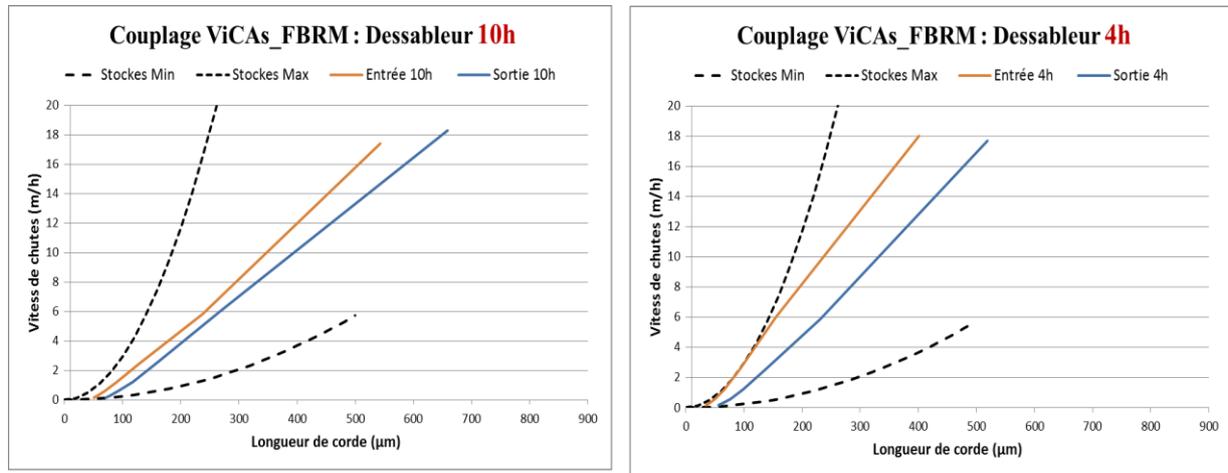


Figure 27 : Graphes des couplages ViCAs/FBRM pour de deux tests à 10h et 4h.

Nous pouvons observer une allure différente pour ces graphes contrairement aux graphes de 21h. Comme précédemment, si nous prenons la longueur de corde à 400 µm, nous obtenons une vitesse de chute de 10 m/h pour le graphe de 10h tandis que la vitesse de chute est à environs 14 m/h pour le graphe de 4h.

Une fois de plus, il est possible de dire que la vitesse de chute des particules en sortie augmente avec un faible débit puisqu'à 4h, le débit est à son minimum. Nous supposons que le fait qu'à 10h les valeurs soient plus élevées qu'à 21h s'explique par un prélèvement trop tôt, le débit n'était pas encore à son maximum.

Enfin, le couplage des résultats permet d'obtenir la masse volumique des particules. Nous avons donc tracé des histogrammes (Figure 28 et 29) représentant la masse volumique des particules en fonction des vitesses de chute.

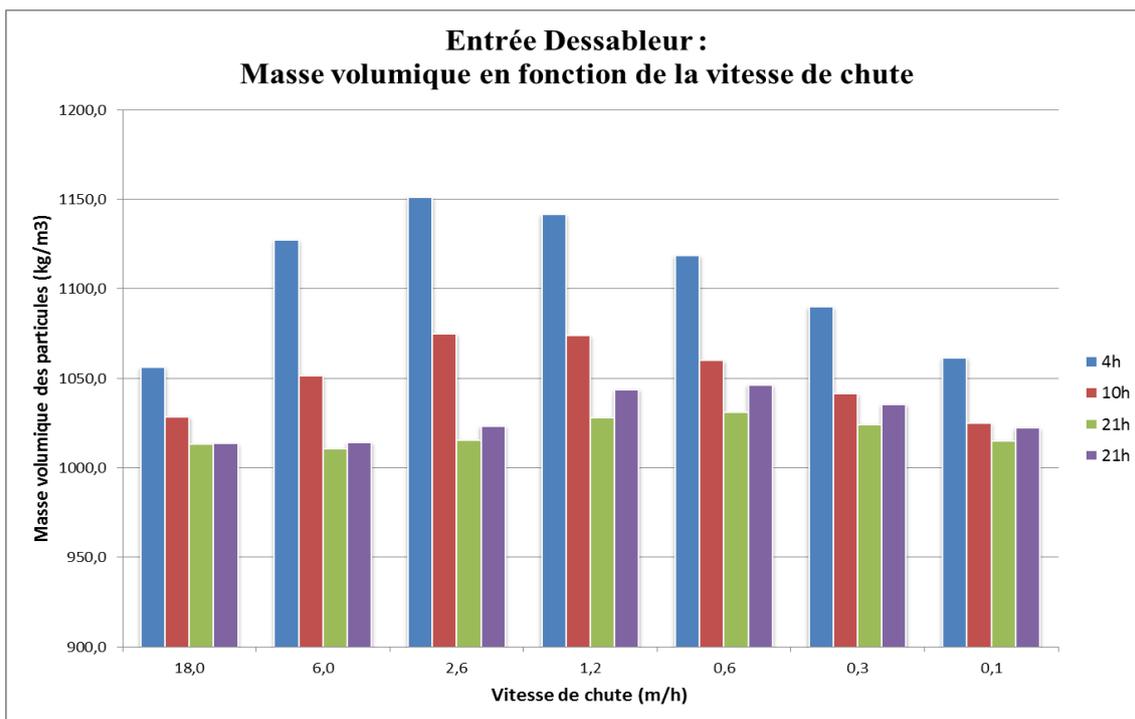


Figure 28 : Histogramme des masses volumiques en entrée dessableur.

Nous constatons que les masses volumiques sont plus élevées à 4h et les particules les plus denses chutent aux environs de 2,6 m/h. Concernant les valeurs pour 21h, les particules ont des masses volumiques assez proches entre 1000 et 1050 kg/m³.

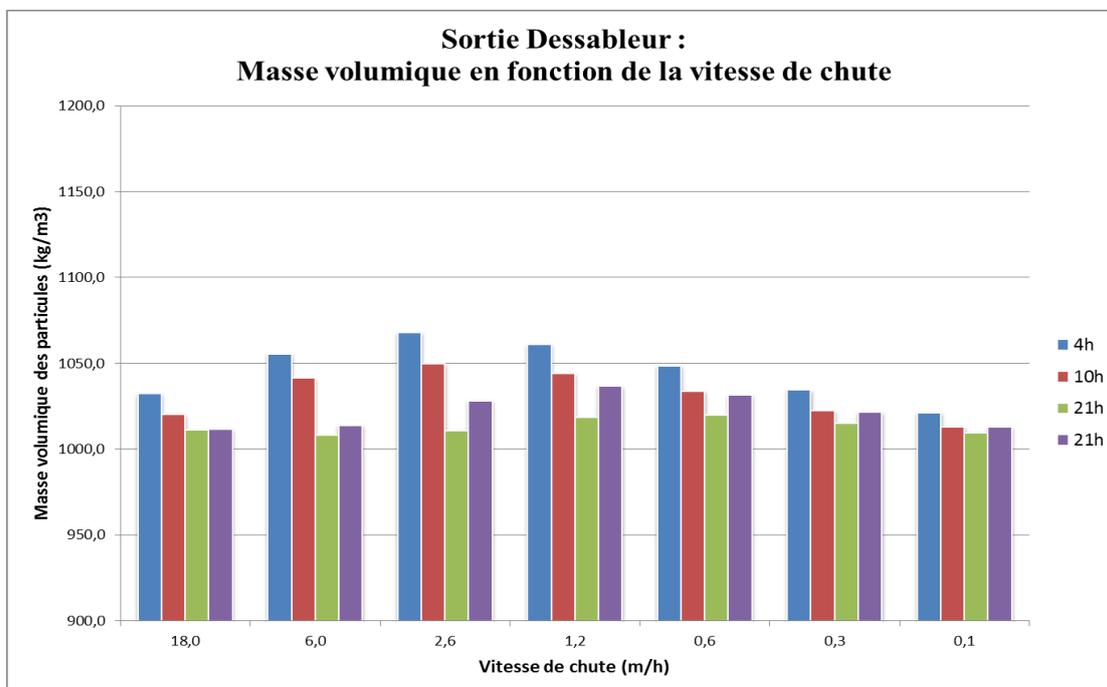


Figure 29 : Histogramme des masses volumiques en sortie dessableur.

En ce qui concerne la sortie du dessableur, nous remarquons que les masses volumiques sont nettement plus faibles qu'en entrée dessableur puisqu'elles ne dépassent pas les 1075 kg/m^3 et nous observons aussi le même comportement qu'en entrée au niveau des horaires. Cette diminution s'explique par le fait que le dessableur élimine une partie des particules en suspension dans l'effluent qui ont une forte densité.

b. Validation de la méthode de détermination de la masse volumique des particules

Comme il a été vu dans la partie II.2-3-c, il est possible grâce au couplage des résultats des tests ViCAs et FBRM de déterminer la masse volumique des particules à partir de la formule de Stokes (1) pour chaque classe de particules données par le ViCAs. Nous obtenons donc une relation entre la vitesse de chute, la taille de particules et leur masse volumique.

Cependant, lors du calcul de pondération des résultats FBRM, la masse volumique peut intervenir mais ici elle est considérée constante. Le but est de vérifier que cette condition initiale ne peut pas influencer les résultats obtenus lors du calcul la masse volumique pour chaque classe de particules. Sur la figure 30, la démarche comporte 6 étapes qui vont être développées dans la suite du rapport.

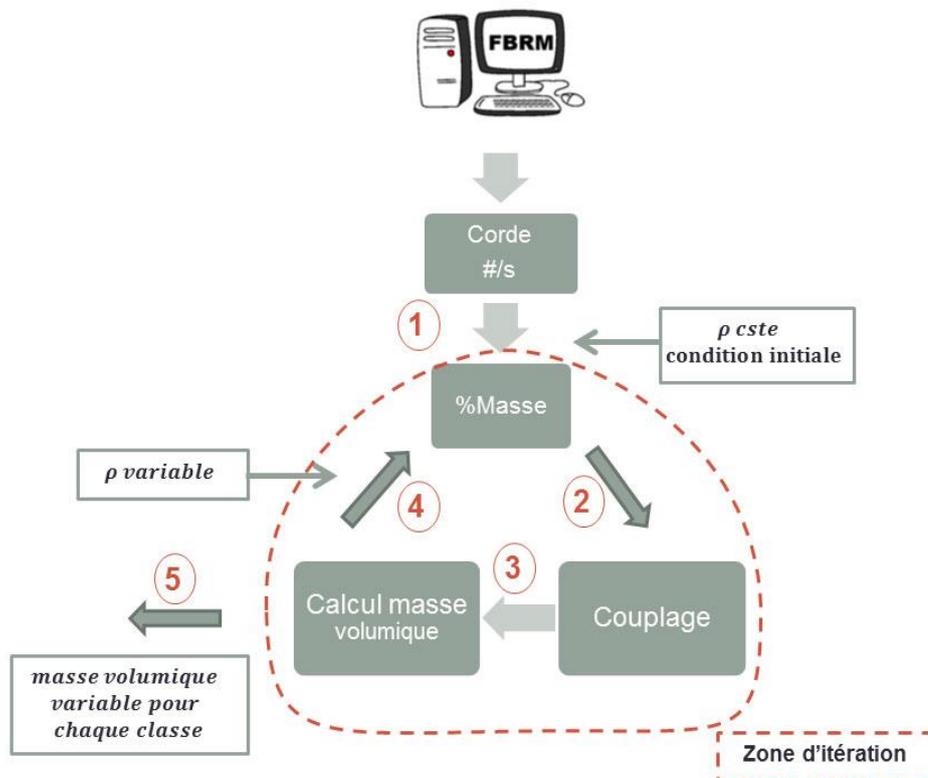


Figure 30 : Schéma représentant les étapes de la méthode de détermination de la masse volumique pour chaque classe de particules.

➤ Etape 1: $f(\text{corde}) = \#/\text{s}$ à $f(\text{corde}) = \%$ masse

Premièrement, nous récupérons les résultats du test FBRM sous forme de données regroupées dans un fichier excel : ce sont les longueurs de corde en fonction du nombre de détection de particules par seconde. Avec le FBRM, il est possible de récupérer les données pondérées par le logiciel ou les données brutes c'est-à-dire non pondérées. La différence c'est que les données pondérées ont subi un calcul pour obtenir un volume de particules détectées tandis que les non pondérées ce sont le nombre de détection de particules par seconde. Ici, nous effectuons les calculs à partir des données non pondérées afin de les pondérer pour faire intervenir la masse volumique.

Ces données non pondérées, le nombre de détection par seconde ($\#/\text{s}$) et la longueur de corde, sont transformées en volume avec la formule de volume d'une sphère. Ici, nous supposons que les particules sont sphériques et nous remplaçons le diamètre d'une sphère par la longueur de corde. Le volume est ensuite multiplié par le nombre de détection de particules par secondes (4).

$$\text{Volume d'une particule} = \left(\frac{4}{3} * \pi * \text{corde}^3 \right) * (\#/\text{s}) \quad (4)$$

Suite à cela, il faut transformer ce volume en masse en multipliant ce volume par la masse volumique. La condition initiale ici c'est de considérer cette masse volumique constante pour ensuite procéder par itération.

C'est ainsi que nous obtenons une masse puis une fraction de masse cumulée en faisant la masse de la particule divisée par la masse totale (5).

$$\text{Fraction massique cumulée} = \left(\frac{\text{Volume} * \rho_{\text{constante}}}{\text{Volume totale} * \rho_{\text{constante}}} \right) * 100 \quad (5)$$

Cette première étape est résumée avec la figure 31 ci-dessous :

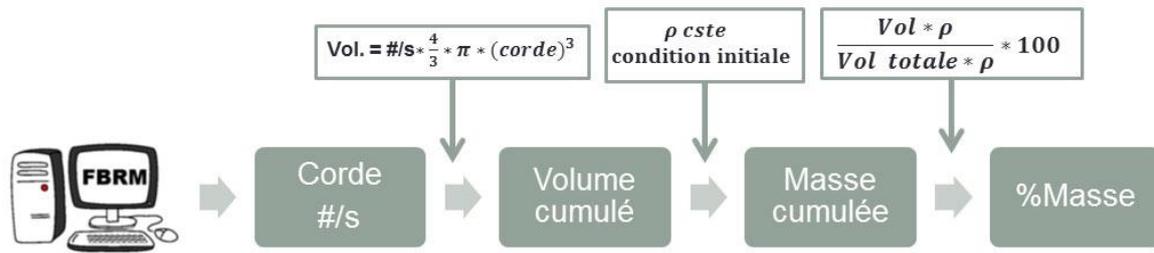


Figure 31 : Schéma explicatif de l'étape 1 de la méthode.

➤ Etape 2 : Couplage des résultats

La deuxième partie consiste au couplage des résultats ViCAs et FBRM. En reprenant ce qui a déjà été cité dans la partie II.2-3-c, nous obtenons donc suite à ces calculs, une fraction massique cumulée en fonction d'une longueur de corde. Les résultats des tests ViCAs sont aussi sous forme d'une fraction massique en fonction d'une vitesse de chute. Grâce à la méthode de couplage par interpolation linéaire (Annexe 4), nous obtenons une vitesse de chute en fonction d'une longueur de corde comme résumé sur la figure 32 ci-dessous :

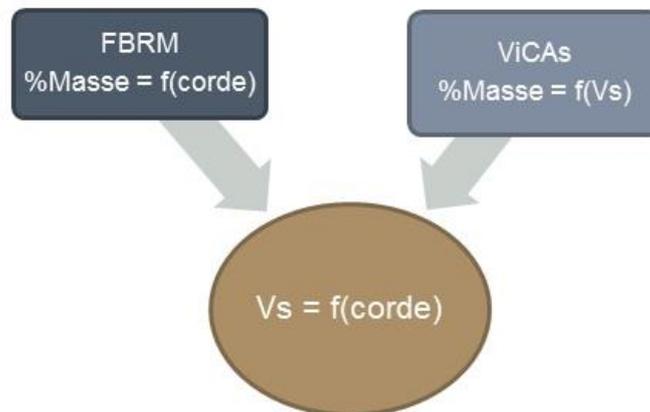


Figure 32 : Schéma explicatif du couplage ViCAs/FBRM.

- Etape 3 : détermination de la masse volumique pour chaque classe de particules

Enfin, la troisième étape consiste en la détermination de la masse volumique pour chaque classe de particule (ici masse volumique variable) en utilisant la formule de Stokes (1) : pour une longueur de corde correspond à une vitesse de chute et à une masse volumique.

ρ_p masse volumique des particules
calculée par :

$$V_s = \frac{g * d^2 * (\rho_p - \rho_e)}{18 * \mu} \text{ Formule de Stokes}$$

$$V_s = f(\text{corde}, \rho)$$

- Etape 4 & 5 : Résultats d'itération

Pour réaliser ces calculs, nous avons utilisé la base de données des résultats de la campagne d'échantillonnage 2013 réalisée autour d'un décanteur pilote. Pour plusieurs dates d'expérience, nous avons suivi la méthode puis au lieu de considérer la masse volumique constante, nous l'avons remplacée par la nouvelle valeur trouvée (étape 4).

Cependant, il faut noter que le test ViCAs permet d'obtenir 7 vitesses de chutes tandis que le test FBRM nous donne une centaine de valeurs de longueur de corde. Comme il nous faut une vitesse de chute pour chaque longueur de corde, nous utilisons la courbe de la vitesse de chute en fonction de la longueur de corde afin de déterminer entre les 7 points, l'équation de chacune des droites formant la courbe.

Ainsi, il est possible d'obtenir pour chaque longueur de corde, une vitesse de chute grâce aux valeurs des coefficients des droites. Sur la figure 16 ci-dessous, un exemple montrant bien que la courbe est divisée en plusieurs droites de type $(a * x) + b$ et qu'il est possible pour chaque longueur de corde, d'obtenir sa vitesse de chute comme nous pouvons le voir sur la figure 33.

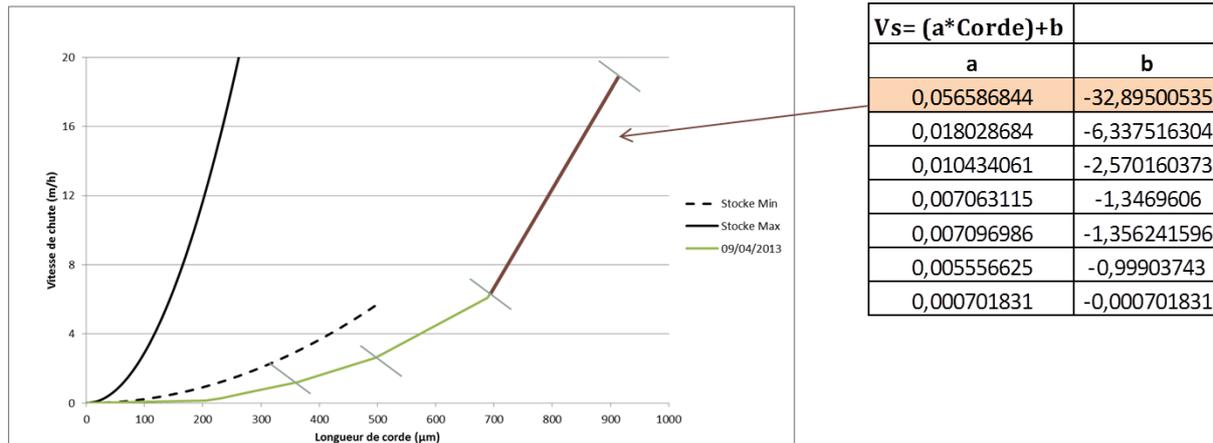


Figure 33 : Graphe et tableau pour expliquer la technique d’obtention des valeurs de vitesses.

Ainsi, l’opération a été itérée trois fois puis pour chaque itération, la courbe de la masse volumique des particules en fonction de la longueur de corde a été tracée. Pour toutes les expériences, chaque courbe correspondant à une itération se superpose parfaitement à la première courbe où ρ est constante (condition initiale). Cela signifie que lorsque la valeur de la masse volumique pour chaque classe de particule est intégrée dans le calcul de la masse cumulée, il n’y a aucune influence sur les résultats. La condition initiale étant de laisser la masse volumique constante n’influence pas les résultats pour chaque classe de particule. En annexe 5, nous pouvons retrouver une capture écran du fichier réunissant les calculs.

Nous pouvons conclure que la méthode utilisée pour la détermination de la masse volumique pour chaque classe de particules est validée. Cette vérification permet son utilisation sans hypothèse pour la caractérisation des particules dans le dessableur et pour les futurs projets nécessitant la détermination de la masse volumique des particules.

II.2-5. Conclusion

Grâce à cette campagne d’échantillonnage, il a été possible de débiter une caractérisation des particules au niveau du dessableur en observant le comportement des tailles de particules mais aussi de leurs vitesses de chute lors du passage dans le dessableur. De plus, ce milieu est tellement hétérogène que certaines expériences n’ont pas pu être exploitées car elles étaient trop incohérentes.

Cette étude est le début d'un projet autour du dessableur et nous a permis de comprendre comment se comporte les particules à ce niveau de la station d'épuration. Il faut tenir compte de nombreuses contraintes comme le fait de ne pas pouvoir conserver nos échantillons plus de 24h, cela induit qu'il faut faire les tests le jour même de l'échantillonnage. Cela nécessite une organisation pour aller chercher les échantillons puis débiter les tests rapidement à l'université.

Cette étude peut être continuée sur une période plus longue en prenant en compte les contraintes qui peuvent fausser les résultats et en s'appuyant sur les résultats obtenus dans ce rapport.

III. Partie Ethique

Comme dit dans la partie II.1.b, des campagnes d'échantillonnage ont eu lieu pendant l'été pour effectuer des tests comparables aux mesures des capteurs au niveau du dessableur de la station d'épuration. Ces campagnes sont importantes et toutes les personnes concernées doivent être présente pour le bon déroulement des opérations.

Mon tuteur de stage avait confié cette campagne d'échantillonnage à moi et deux autres stagiaires, Maxime et Yoann qui travaillaient sur les capteurs dans leur projet. Une réunion d'information a été fait le vendredi précédent le début de la campagne afin de nous expliquer le but des campagnes mais aussi pour nous organiser entre nous pour les différentes tâches à effectuer. Trois jours intenses nous attendaient car de nombreux tests étaient prévus comme les ViCAs et les FBRM le lundi dont j'étais responsable.

Malheureusement, le lundi, je me suis réveillée avec le visage boursoufflé. Un problème qui ne m'était jamais arrivée même en France. Je suis quand même venue à l'Université dans l'optique d'effectuer mes tests comme prévu car je savais que ces résultats seraient importants. Il faut savoir que le système médical au Québec est différent du système français : En moyenne, il faut attendre 5 ou 7 heures aux urgences pour consulter un médecin. Le dilemme était donc de laisser tomber les tests et aller aux urgences ou bien rester pour assurer mon travail.

Après être arrivé à l'Université, j'ai réfléchi aux alternatives possibles :

- Demander à un autre membre de l'équipe de me remplacer pour ces tests sans savoir leur emploi du temps.
- Faire mes tests assez rapidement et voir un médecin en fin de journée en sortant du travail.
- Laisser ces tests de côtés, chercher un médecin et faire mon possible pour les réaliser à la prochaine campagne.

Après avoir discuté avec les responsables, le tuteur et la responsable de laboratoire, ils m'ont conseillé de laisser tomber les tests et d'aller voir un médecin car mon visage devenait très inquiétant. J'étais quand même très déçue et gênée d'avoir empêché la réalisation de ces deux tests.

Des trois alternatives ce fut quand même la plus raisonnable car la santé passe avant tout et comme mon visage gonflait de plus en plus, on ne pouvait pas savoir ce qui m'arrivait. De plus, le fait de se trouver dans un pays étranger, les problèmes de santé prennent une autre ampleur car aucun membre de la famille ne peut venir vous voir si les choses s'aggravent.

Suite à cette situation, les responsables m'ont dit de ne pas m'inquiéter et de revenir dès que tout serait rentré dans l'ordre. D'autres membres de l'équipe ont pu assurer les tâches que je devais effectuer le mardi et je suis revenue à l'Université le mercredi. J'ai quand même en quelque sorte participé à cette campagne en terminant quelques mesures faites le mercredi.

Les résultats de la campagne ont quand même porté leurs fruits et mon visage a retrouvé sa taille normale au bout de 4 jours... J'ai dû consulter deux médecins de deux cliniques différentes pour avoir un avis sérieux et une prise de sang qui n'a malheureusement pas expliqué d'où venait mon problème.

Ce petit dilemme m'a permis de me projeter pour l'avenir et de réfléchir aux conséquences possibles si je dois gérer le même type de situation avec des collègues de travail.

Conclusion

Ce stage a été non seulement ma première expérience dans un centre de recherche mais aussi un séjour enrichissant à l'international. J'ai dû m'adapter à cette nouvelle culture avec un nouveau vocabulaire au niveau de certains termes professionnels.

Travailler au sein d'une équipe de recherche, c'est travailler en autonomie sur son propre projet mais aussi partager ces expériences avec les autres lors de réunions hebdomadaires. La différence avec l'entreprise c'est qu'il y a de nombreuses périodes de lectures de publications et de longues périodes de réflexion.

Concernant le projet, les résultats ont été satisfaisants et concluants malgré quelques contraintes lors des échantillonnages comme des problèmes techniques à la station d'épuration. Avec un peu plus de temps, je pense que les résultats auraient pu être plus précis mais ce n'est que le début du projet dessablEAU.

De plus, cette expérience m'a permis d'acquérir des connaissances sur la caractérisation des particules avec l'utilisation de nouveaux matériels que je n'avais jamais vus. Aussi j'ai pu voir les différences entre les stations d'épuration selon les normes du pays dans lesquelles elles se trouvent.

La chaire de recherche modelEAU est une équipe dynamique qui est très connue dans le domaine de la recherche au Québec mais aussi dans le monde entier auprès de grands groupes comme Veolia. C'était un plaisir d'apprendre et de travailler avec tous les membres de l'équipe.

Enfin, ce stage en recherche m'a vraiment permis de choisir le domaine dans lequel j'oriente ma carrière professionnelle. Le monde de l'entreprise m'attire beaucoup puisqu'il y a plus d'interactions entre les personnes mais aussi de l'action sur le terrain comme en usine. Les projets changent et évoluent plus rapidement qu'un projet de doctorant qui peut prendre un certain temps avant de se terminer.

Ce séjour à Québec restera un moment inoubliable avec des très belles rencontres et aussi une bonne expérience qui m'a encore fait apprendre sur moi-même.

Références bibliographiques

- [1] Tik, S (2010). *Optimisation des unités de décantation primaire des stations d'épuration de la Ville de Québec*. Rapport de TFE. Génie des Eaux, Université Laval, Québec, Canada.
- [2] Viana Moreira, J & Boudreault, M -C (2012). *Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2011 (ouvrage de surverse et stations d'épuration)*. Rapport du MAMROT, Québec.
- [3] Chebbo, G. & Gromaire, M -C (2009). ViCAs-An operating protocol to measure the distributions of suspended solid settling velocities within urban drainage samples. *J. Environ. Eng*, **135**, 768-775.
- [4] De Clercq, B. Lant, P & Vanrolleghem, P A (2004). Focused beam reflectance technique for in situ particle sizing in wastewater treatment settling tanks. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **79**, 10–618.
- [5] Bel Hadj, I (2013). *Caractérisation de la taille des particules et de leur vitesse de chute en décantation primaire*. MSc Thèse. Génie des Eaux, Université Laval, Québec, Canada.
- [6] Wedd, M (2005). Particle size analysis. *Lower Broadheath*, Worcs, UK, 18 – 29.
- [7] Naslin, F (2013). *Optimisation d'un décanteur primaire : Caractérisation des vitesses de chute et détermination de la distribution des tailles de particules contenues dans les eaux usées*. Rapport de stage Master 2. Génie des Eaux, Université Laval, Québec, Canada.
- [8] Maruejols, T. Lessard, P. Wipliez, B. Pelletier, G & Vanrolleghem, P A (2011). Characterization of the potential impact of retention tank emptying on wastewater primary treatment: a new element for CSO management. *Water Science & Technology*, **64.9**, 1898 – 1905.

Annexe 1 : Capture d'écran fichiers Excel pour la manipulation de données

The screenshot displays an Excel spreadsheet with the following structure:

- Columns:** AA137, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW.
- Rows:** 107 to 148.
- Section 1 (Alun):**
 - Columns: #/s, MES = 78, #/s, MES = 120, #/s, MES = 87.
 - Rows: 108-148.
- Section 2 (Moyenne des courbes "sans ajout"):**
 - Columns: Moyenne, ECART TY, Moyenne, ECART TY.
 - Rows: 108-148.
- Section 3 (Moyenne des courbes "Tanin"):**
 - Columns: Moyenne, ECART TY, Moyenne, ECART TY.
 - Rows: 108-148.

Two line graphs are included:

- Top Graph:** "Moyenne des courbes 'sans ajout'". The y-axis is "Nombre de #/s" (0-6) and the x-axis is "Longueur de corde (µm)" (0-300). It compares "Courbe normalisée par MES, Sortie sans ajout" (blue line) and "Courbe normalisée par MES, Entrée Sans ajout" (black line).
- Bottom Graph:** "Moyenne des courbes 'Tanin'". The y-axis is "Nombre de #/s" (0-8) and the x-axis is "Longueur de corde (µm)" (0-300). It compares "Courbe normalisée par MES, Sortie Tanin" (red line) and "Courbe normalisée par MES, Entrée ajout Tanin" (black line).

Annexe 2 : Protocole ViCAs

Cette annexe est un résumé du mode opératoire officiel utilisé par l'équipe de modelEAU.

- **Matériels nécessaires**

Un dispositif ViCAs,

Une ou plusieurs feuille(s) de résultats ViCAs;

Une pompe à vide et un tuyau de raccordement,

Un ou deux chronomètre(s);

Des filtres en fibre de verre de porosité 1,2 μm conditionnés pour l'analyse des MES;

Un bécher de 5L avec une spatule pour homogénéiser l'échantillon.

- **Mode opératoire**

Préalablement, des filtres ont été préparés selon la méthode MES :

Chaque filtre doit être placé dans l'appareil à filtration pour être humidifié avec de l'eau distillée. Ensuite ils sont placés à l'étuve à 105°C pendant 1 à 2 heures. Enfin, il faut les placer dans un dessiccateur pendant 30 min avant de peser chaque filtre + sa coupelle, c'est la masse initiale m_0 . Les filtres sont ensuite placés dans des boîtes en plastique hermétique pour une bonne conservation. Si une mesure des MVeS doit être faite par la suite, la préparation ne change pas.

Dans un premier temps, bien homogénéiser l'échantillon de 5 litres et récupérer dans un bécher 500 mL pour déterminer la concentration initiale C_0 de l'échantillon en triplicata selon la méthode MES. Ensuite, allumer la pompe à vide, verser l'échantillon (bien homogénéisé) dans le dispositif ViCAs, faire monter l'échantillon dans la colonne jusqu'à la limite indiquée sur la colonne, placer la première coupelle et déclencher le chronomètre (exemple figure A).

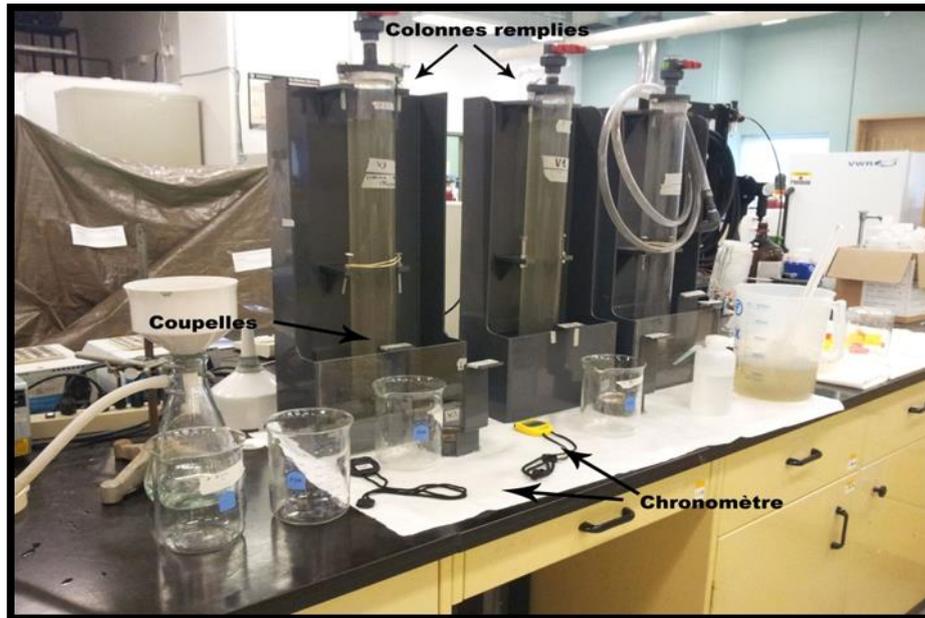


Figure A : Photos de deux dispositifs ViCAs en cours d'expérience

Ensuite, pour chaque essai en cours, il faut récupérer très délicatement les coupelles aux intervalles 2, 6, 14, 30, 62, 126 et 254 minutes. Il faut le faire très soigneusement pour éviter la remise en suspension des particules tombées dans la coupelle. Pour chaque coupelle récupérée, le contenu est filtré (Figure B) sur un filtre préparé précédemment (noter le numéro de la coupelle du filtre pour éviter les erreurs lors des pesées) puis le filtre est placé à l'étuve 105°C pendant 1 heure. Chaque filtre passe ensuite au dessiccateur pendant 30 min puis ils sont pesés (masse m_1). Concernant les MVeS, il suffit de prendre ces filtres déjà pesés et de les placer au four à 550°C pendant 20 min et de procéder de la même façon pour la pesée (m_2) : passage au dessiccateur puis pesée.



Figure B : Photo du dessus : après filtration de coupelle/Photo du dessous : préparation du filtre

Enfin, après la dernière coupelle récupérée, il faut récupérer l'échantillon de la colonne pour en mesurer la concentration finale C1 en triplicata.

Concernant les masses recueillies, il faut effectuer les calculs suivants pour déterminer la quantité de matière en suspension ainsi que pour les matières volatiles :

$$MES = \frac{(m1 - m0) * 1000}{Volume\ versé}$$

$$MVeS = \frac{(m1 - m2) * 1000}{Volume\ versé}$$

Avec m0, m1 et m2 en mg, Volume en mL.

Cependant ici, il suffit de rentrer les résultats dans le fichier excel « VICAS_Resulats_Modele » figure C en entrant la longueur de la colonne et les masses récupérées.

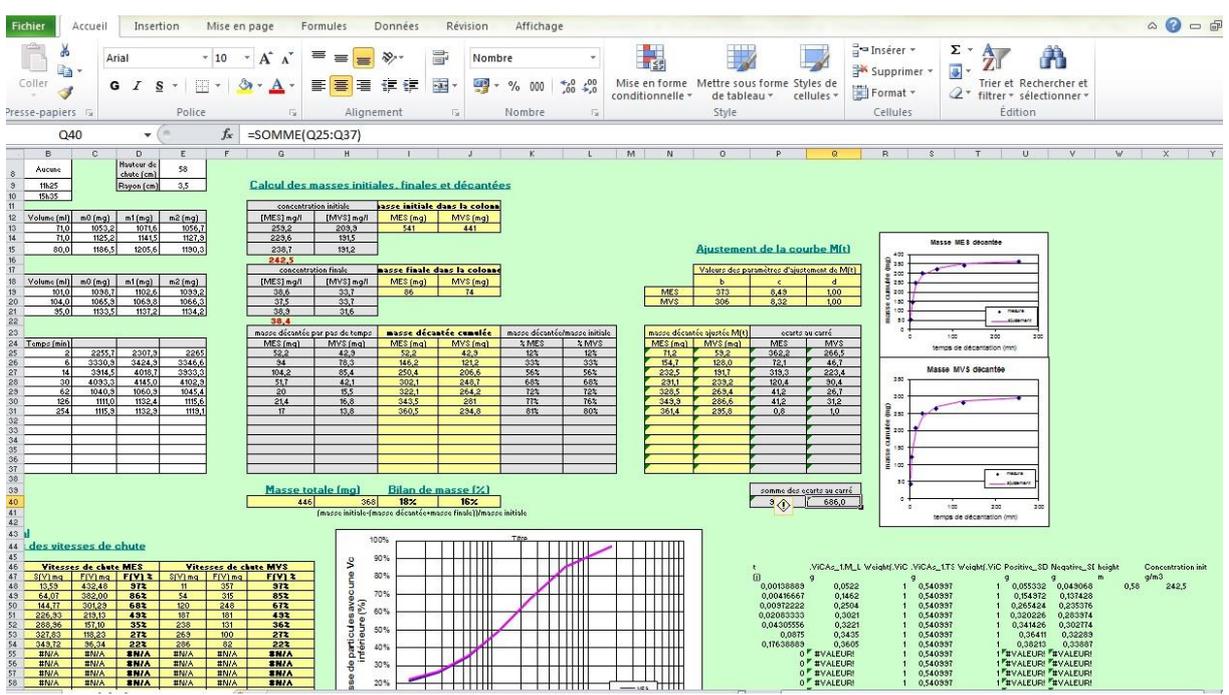


Figure C : Capture d'écran du fichier excel pour les résultats ViCAs.

Dans le fichier excel, il y plusieurs calculs mais il faut aussi utiliser l'outil Solveur pour ajuster la courbe des masses cumulées.

On peut déterminer le bilan de masse obtenu :

$$E = \frac{M_{initiale} - (M_{décantée} + M_{finale})}{M_{initiale}} * 100$$

Avec :

E : L'erreur sur le bilan de matière (%);

M_{initiale} : masse initiale de particules présentes dans la colonne au début de l'expérience (mg);

M_{décantée} : Somme des masses décantées et collectées dans chacune des coupelles (mg);

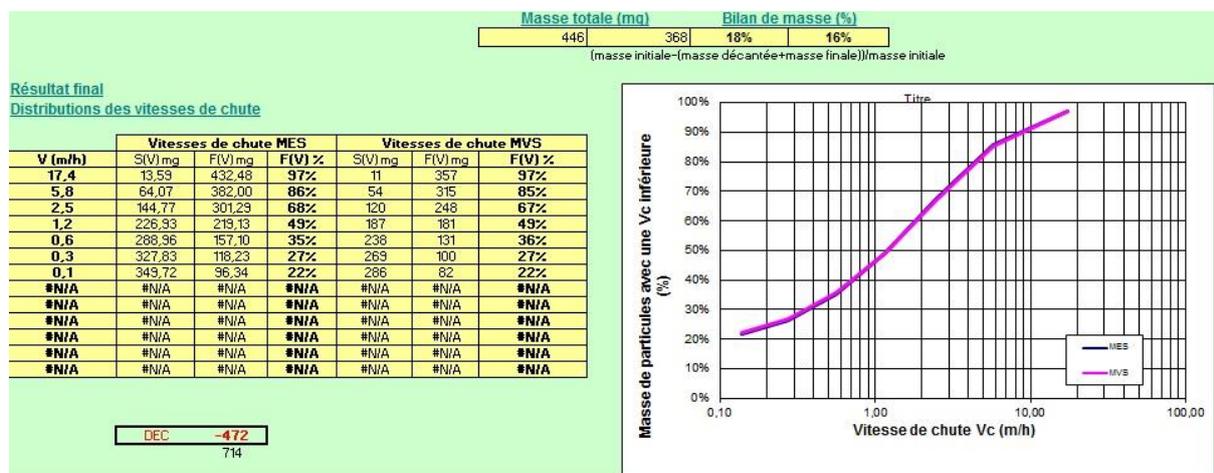
M_{finale} : masse finale de particules présentes dans la colonne au terme de l'expérience (mg).

Pour déterminer ces masses, il faut utiliser les concentrations en MES, la longueur et le diamètre de la colonne :

Exemple pour la M_{initiale} :

$$M_{initiale} = C_0 * V_{colonne} \frac{C_0 H \pi R^2}{1000}$$

Avec C₀ : la concentration en MES de l'échantillon (mg/L), V : Le volume de la colonne (L), H : La hauteur de liquide dans la colonne (cm), R : Le rayon de la colonne (cm). Pour M_{décantée} c'est la somme des masses décantées dans chaque coupelle. On obtient donc une courbe de la masse cumulée en fonction des vitesses de chutes comme sur la figure D :



Annexe 3 : Protocole FBRM

Cette annexe est un résumé du mode opératoire officiel utilisé par l'équipe de modelEAU.

- **Matériels nécessaires**

Une sonde FBRM D600R

Une unité centrale pour la sonde

Un ordinateur avec le logiciel iC FBRM pour l'acquisition des données

Un dispositif d'agitation pour maintenir l'homogénéité de l'échantillon

Un bécher d'environ 500 mL (format prévu pour l'analyse)

Une arrivée d'air comprimé pour alimenter la sonde

Une pissette d'eau distillée

- **Mode opératoire**

Pour réaliser les essais FBRM, il suffit de 200 à 300 mL d'échantillon que l'on a bien homogénéisé avant de le prélever.

A noter qu'avant de débiter une expérience, la sonde subit un préchauffage d'environ 30 minutes.

Pour débiter un essai, il faut commencer par ouvrir le logiciel iC FBRM depuis l'ordinateur du poste. On ouvre une nouvelle expérience et on commence par un test qui mesure l'état de propreté de la sonde. Pour cela, il faut remplir le bécher avec de l'eau distillée et de suivre les étapes proposées par le logiciel. Si la sonde n'est pas suffisamment propre, il faut la nettoyer avec du papier non abrasif et un produit non corrosif, puis refaire la même procédure jusqu'à ce qu'elle apparaisse propre.

Après cette étape, l'interface d'acquisition permet de configurer les paramètres de la sonde. Les paramètres utilisés sont :

- 2 m/s pour la vitesse de balayage de la sonde,
- "Fine" pour le choix du filtre électronique.

La vitesse du mobile d'agitation est réglée manuellement via un sélecteur de vitesse sur le moteur à 200 tours/min. Ces paramètres ont été retenus dans le cadre de l'analyse des eaux usées par Imen Bel Hadj (2013).

Une fois les paramètres enregistrés, l'échantillon d'eau usée est placé sur le support de la sonde. L'acquisition des données débute. L'enregistrement des cordes est suivi en temps réel grâce à l'interface (figure E).

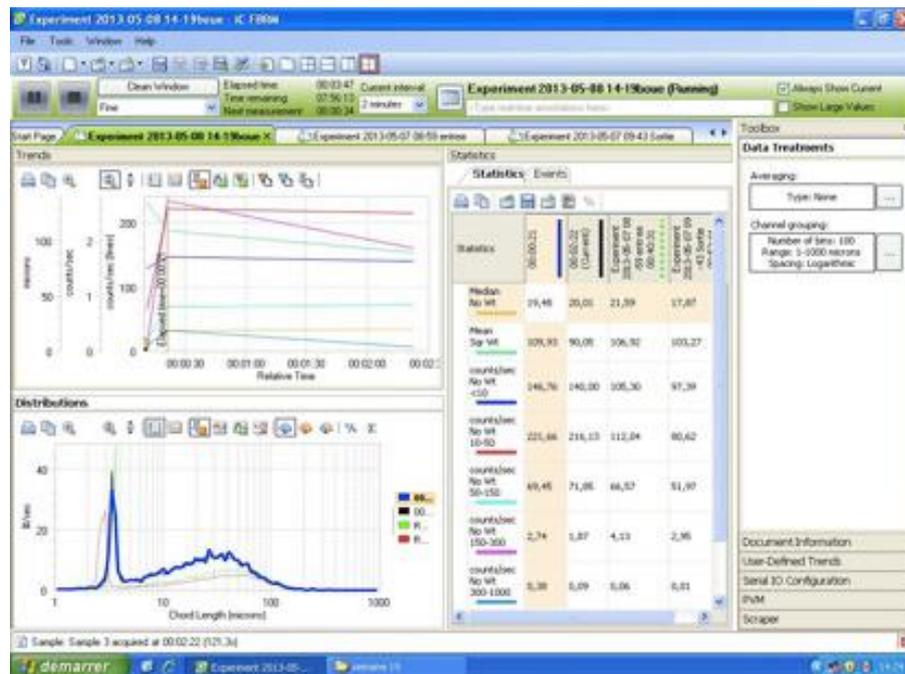


Figure E : Interface d'acquisition du logiciel iC FBRM

La sonde va alors réaliser les mesures de différentes classes granulométriques de particules afin de générer une distribution complète de leur taille dans une gamme allant de 0 à 1000 μm . L'acquisition des données s'achève lorsqu'il n'y a plus de variation dans les mesures. Les données acquises sont exportées sur Excel afin de pouvoir être traitées. Les distributions des particules sont représentées sous la forme de graphiques.

Annexe 4 : Couplage des résultats ViCAs/FBRM

Cette annexe permet de comprendre comment les données ViCAs et FBRM sont couplés.

Tout d'abord, il faut récupérer tous les résultats et les saisir dans le fichier excel qui fait office de base de données exemple sur les figure F et G :

B	C	D	E	F	G	H	I
Date d'échantillonna	Heure	Q Dessableur (m3/h)	Q boues (m3/h)	Charge	Produit	Vitesses entrée (m/h)	F[%] entrée
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	17,7	99%
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	5,9	93%
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	2,5	80%
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	1,2	63%
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	0,6	47%
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	0,3	36%
18/09/2014	21:00:00	Rien	Aucun	Nuit	∅	0,1	29%

Figure F : Exemple de la BDD pour les résultats ViCAs

Weighted			
Corde (µm)	#/s volume	Corde pourcentage(µm)	F[%]
70,0259	0,5805	67,6083	33,0801
75,0342	0,5829	72,4436	36,3238
80,4005	0,5824	77,6247	39,581
86,1507	0,5492	83,1764	42,8354
92,3122	0,5417	89,1251	45,9043
98,9143	0,5169	95,4993	48,9314
105,9886	0,4922	102,3293	51,8197
113,5688	0,4646	109,6478	54,5701
121,6911	0,438	117,4898	57,1663
130,3944	0,4117	125,8925	59,6135
139,7201	0,3892	134,8963	61,9138
149,7128	0,3589	144,544	64,0883
160,4202	0,3123	154,8817	66,094
171,8933	0,3228	165,9587	67,8393
184,187	0,3213	177,8279	69,643
197,3599	0,3162	190,5461	71,4385
211,475	0,3039	204,1738	73,2056
226,5995	0,3254	218,7762	74,904
242,8058	0,2941	234,4229	76,7224
260,1711	0,3057	251,1886	78,3656
278,7783	0,303	269,1535	80,0739
298,7163	0,2931	288,4032	81,7671
320,0803	0,3271	309,0295	83,4048
342,9723	0,2944	331,1311	85,2324
367,5014	0,2869	354,8134	86,8775
393,7848	0,2661	380,1894	88,4804
421,9481	0,22	407,3803	89,9676
452,1255	0,2201	436,5158	91,197
484,4612	0,2116	467,7351	92,4267
519,1095	0,1997	501,1872	93,609
556,2359	0,1484	537,0318	94,7246
596,0175	0,1472	575,4399	95,554
638,6442	0,1399	616,595	96,3767
684,3196	0,1805	660,6934	97,1586
733,2617	0,1164	707,9458	98,1674
785,704	0,0716	758,5776	98,8176
841,8971	0,0705	812,8305	99,2179
902,1089	0,054	870,9636	99,6119
966,6272	0,0155	933,2543	99,9134

Figure G : Exemple de la BDD pour les résultats FBRM

Nous avons donc :

- Pour le ViCAs : Fraction de masse cumulée en fonction des vitesses de chute.
- Pour le FBRM : Fraction de masse cumulée en fonction de la longueur de corde.

Le but ici est de retrouver à quelle vitesse de chute correspond une longueur de corde. Pour cela, on prend le pourcentage (%) correspondant à la vitesse de chute et on fait une interpolation linéaire pour retrouver dans la BDD de FBRM la valeur de longueur de corde (μm) correspondante à ce pourcentage.

Vitesses entrée (m/h)	F(%) entrée
17,7	99%
5,9	93%
2,5	80%
1,2	63%
0,6	47%
0,3	36%
0,1	29%

Weighted			
Corde (μm)	#/s volume	Corde pourcentage(μm)	F(%)
70,0259	0,5805	67,6083	33,0801
75,0342	0,5829	72,4436	36,3238
80,4005	0,5824	77,6247	39,581
86,1507	0,5492	83,1764	42,8354

On place ensuite les valeurs dans le tableau ci-dessous pour effectuer le calcul de l'interpolation :

Y1-2(μm)	X1-2 (%)	X (%)	Y (μm)
733,26	98,17	98,68	774,86
785,70	98,82		
484,46	92,43	92,53	487,39
519,11	93,61		
260,17	78,37	79,59	273,47
278,78	80,07		
139,72	61,91	62,61	142,93
149,71	64,09		
92,31	45,90	47,07	94,85
98,91	48,93		
70,03	33,08	36,02	74,57
75,03	36,32		
60,99	26,89	29,33	64,50
65,35	29,92		

La formule ainsi utilisée est la suivante :

$$Y = Y_1 + (X - X_1) * \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}$$

On effectue ce calcul pour les 7 valeurs de vitesses de chute et on obtient le tableau récapitulatif de la figure H :

Vitesses (m/h) ▾	F(%) ▾	Longueur de corde (µm) ▾
17,7	99%	774,9
5,9	93%	487,4
2,5	80%	273,5
1,2	63%	142,9
0,6	47%	94,8
0,3	36%	74,6
0,1	29%	64,5

Figure H : Tableau réunissant les valeurs de vitesses, de fraction masses cumulées et de corde.

Suite à ce résultat, il est alors possible de déterminer la masse volumique figure I avec la formule de Stokes en respectant les unités :

$$\rho_p = \frac{(v * 18 * \mu) + (g * corde^2 * \rho_s)}{g * corde^2}$$

Avec d'après un calcul obtenu par Prophy Plus :

$$\rho_e = 998,08796 \text{ kg/m}^3 \text{ et } \mu = 0,00102196 \text{ Pa.s}$$

Vitesses (m/h) ▾	F(%) ▾	Longueur de corde (µm) ▾	Masse volumique particule ρ_p ▾
17,7	99%	774,9	1013,4
5,9	93%	487,4	1011,0
2,5	80%	273,5	1015,7
1,2	63%	142,9	1028,2
0,6	47%	94,8	1031,1
0,3	36%	74,6	1024,4
0,1	29%	64,5	1015,5

Figure I : Tableau de la figure H avec les masses volumiques

Il ne reste plus qu'à tracer les courbes des vitesses de chute en fonction des longueurs de corde.

Annexe 5 : Capture d'écran du calcul des itérations

Graphique 7

ENTREE					Premier calcul		Itération 2		Itération 3		Itération 4	
Corde (µm)	#/s	pse volumique (kg/h)	masse cumu	Fraction %	Vitesse (m/h)	Masse Volumique calculée	Vitesse (m/h)	Masse volumique calculée	Vitesse (m/h)	Masse volumique calculée	Vitesse (m/h)	Masse vo
09/04/2013	1,0358	0,2943	1010,286239	1384,048	3,563E-07	2,513E-05	1010,286239	2,51E-05	1010,272204	2,50975E-05	1010,272638	2,5097E-05
	1,1098	0,3153	1030,677652	2796,031	7,198E-07	7,706E-05	1030,677652	7,697E-05	1030,640154	7,69751E-05	1030,641314	7,69734E-05
	1,1892	0,3378	1046,995823	4686,161	1,206E-06	0,0001328	1046,995823	0,0001326	1046,939549	0,000132638	1046,941291	0,000132635
	1,2743	0,4428	1059,839785	7208,208	1,856E-06	0,0001925	1059,839785	0,0001923	1059,768733	0,000192298	1059,770932	0,000192293
	1,3654	0,4995	1069,737945	11313,92	2,912E-06	0,0002564	1069,737945	0,0002562	1069,655503	0,000256163	1069,658055	0,000256158
	1,463	0,5457	1077,166692	17050,95	4,389E-06	0,0003249	1077,166692	0,0003246	1077,075703	0,000324585	1077,078519	0,000324578
	1,5677	0,6579	1082,530315	24799,41	6,384E-06	0,0003984	1082,530315	0,000398	1082,433154	0,000397985	1082,436161	0,000397977
	1,6798	0,7049	1086,159049	36332,1	9,353E-06	0,0004771	1086,159049	0,0004766	1086,057712	0,000476573	1086,060849	0,000476562
	1,7999	0,9083	1088,35024	51564,13	1,327E-05	0,0005614	1088,35024	0,0005607	1088,246383	0,000560769	1088,249598	0,000560756
	1,9287	0,9911	1089,35489	75731,67	1,95E-05	0,0006518	1089,35489	0,000651	1089,249877	0,000651064	1089,253127	0,00065105
	2,0666	1,1501	1089,384872	108179,2	2,785E-05	0,0007486	1089,384872	0,0007477	1089,279824	0,000747738	1089,283075	0,000747722
	2,2144	1,2576	1088,623057	154467,5	3,976E-05	0,0008523	1088,623057	0,0008513	1088,518886	0,000851353	1088,52211	0,000851335
	2,3728	1,4121	1087,2238	216657,1	5,577E-05	0,0009635	1087,2238	0,0009624	1087,121239	0,000962399	1087,124413	0,000962378
	2,5425	1,5849	1085,318911	302419,1	7,785E-05	0,0010826	1085,318911	0,0010813	1085,218542	0,001081367	1085,221648	0,001081344
	2,7243	1,7935	1083,01976	420589,8	0,0001083	0,0011202	1083,01976	0,00112088	1082,922035	0,0011208818	1082,92506	0,001120872
	2,9192	2,1013	1080,418297	584704,2	0,0001505	0,001347	1080,418297	0,0013454	1080,323566	0,001345452	1080,326498	0,001345423
	3,1279	2,7501	1077,596331	820656,6	0,0002113	0,0014934	1077,596331	0,0014917	1077,504847	0,001491761	1077,507678	0,001491728
	3,3517	3,30225	1074,61572	1189490	0,0003088	0,0016505	1074,61572	0,0016486	1074,527665	0,001648655	1074,530391	0,00164862
	3,5914	3,30225	1071,534993	1757575	0,0004524							

Annexe 6 : Feuille de résultats ViCAs

Mesures prises en laboratoire - VICAS

Informations sur l'échantillon
Référence:
Date et heure de prélèvement:
Volume total:
Préleveur:
Conservation:
Date et heure d'analyse:

Qui
Manipulation des coupelles:
Mesure des MES, MVeS:

Informations sur la colonne	
Numéro:	
Hauteur de chute (cm):	

Concentration Initiale					
Essai	N° filtre	Volume (ml)	m ₀ (mg)	m ₁ (mg)	m ₂ (mg)
1					
2					
3					

Concentration Finale					
Essai	N° filtre	Volume (ml)	m ₀ (mg)	m ₁ (mg)	m ₂ (mg)
1					
2					
3					

où m₀: masse du filtre conditionné

m₁: masse du filtre donnant les MeS

m₂: masse du filtre donnant les MVeS

Remarque: _____

Référence: _____

Heure et date de début: _____ $\Sigma\Delta t =$

Heure et date de fin: _____ $\Sigma\Delta t =$

Essai de décantation					
Heure/date	Δt	$\Sigma\Delta t$	N° filtre	m_1 (mg)	m_2 (mg)
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					

Remarque: _____
